

**YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU DOKÜMANTASYON MERKEZİ**  
**TEZ VERİ FORMU**

Tez No:

Konu:

Üniv. Kodu:

Not: Bu bölüm merkeziniz tarafından doldurulacaktır.

Tezin yazarının

Soyadı:ÖVEN

Adı: EMRE ERASLAN

Tezin Türkçe adı: STATİK İTME  
YÖNTEMİYLE BİNA TAHKİKİ

Tezin Yabancı adı: SEISMIC SAFETY  
ASSESSMENT OF STRUCTURES BY USING  
NONLINEAR STATIC ANALYSIS PROCEDURE

Tezin Yapıldığı

Üniversite:İTÜ

Enstitüsü:FEN BİLİMLERİ Yılı: 2005

Diğer Kuruluşlar:

Tezin Türü: 1- Yüksek Lisans  
2- Doktora  
3- Tıpta Uzm.  
4- Sanatta Yeterlilik

Dili: TÜRKÇE  
Sayfa Sayısı 128

Tez Danışmanlarının

Ünvanı:Prof. Dr.

Adı:METİN

Soyadı:AYDOĞAN

Ünvanı:

Adı:

Soyadı:

Türkçe anahtar kelimeler:

İngilizce anahtar kelimeler:

1- Kapasite  
2- Talep  
3- Performans  
4- Hedef Deplasman  
5- Statik itme analizi

1- Capacity  
2- Response  
3- Performance  
4- Target Displacement  
5- Non linear static

Tarih:17.06.2005

İmza:

## ÖNSÖZ

Dünyanın önemli deprem kuşaklarından biri üzerinde bulunan Türkiye'nin büyük bir kısmı birinci derece deprem kuşağında bulunmaktadır. Ancak son yıllarda meydana gelen Marmara ,Düzce ve Adana depremlerinde bir kere daha görüldü ki bu kadar riskli bir bölgede olmamıza rağmen yapılarımız bu depremlerde beklenen dayanımı gösterememiş, bir çok can ve mal kaybı ile karşılaşmıştır.

Bu kayıpların başlıca nedeni yapıların sismik kuvvetler altındaki yetersizliğidir. Bu yetersizliğin en önemli nedenlerinin başında denetimdeki eksiklikler neticesinde kullanılan malzeme ve işçiliğin hesaplarda öngörülenin çok altında olması, geoteknik nedenler ve proje aşamasında taşıyıcı sistem seçimindeki hatalar sayılabilir. Bütün bu nedenler yapının sismik kuvvetler altındaki davranışını etkilemekte ve yapının bu kuvvetler altındaki dayanımını hesaplayabilmek için kullanılan malzemenin davranışının hesaplarda gerçeğe en yakın şekilde yansıtılması gerektiği artık net olarak bilinmektedir.

Günümüzde artık malzemenin lineer olmayan davranışını dikkate alan yapı analizi yöntemleri üzerine birçok çalışma yapılmakta ve bu çalışmaların bilgisayar ortamına aktarılması ile bu yöntemlerin en hızlı ve etkili bir biçimde uygulanmasına çalışılmaktadır. Bu analiz yöntemleri ile yeni yapılacak yapıların proje aşamasındayken yapı güvenliklerinin sağlıklı bir şekilde projelendirilmesi ve mevcut binaların da yeterli güvenliğe erişmeleri için gerekli müdahalelerin daha etkin ve daha doğru bir biçimde yapılması sağlanmaktadır.

Bu yöntemlerden biri de “Statik İtme yöntemi” dir. Bu yöntemle mevcut veya yeni yapılan binaların kapasiteleri, malzemenin lineer olmayan davranışını dikkate alarak çıkarılmakta ve yapıların performansları incelenmektedir.

Bu çalışmada ilk olarak, 6 katlı 1975 deprem yönetmeliğine göre yapılmış mevcut bir betonarme yapının yatay yükler altındaki davranışı statik itme yöntemi ile incelenmiştir. Ardından 1975 yönetmeliğine göre 3 katlı bir betonarme okul binasının yatay yüklere göre dizaynı yapılmış daha sonra düşük beton kalitesi ve yetersiz sargı donatısı bulunması halinde davranışı statik itme yöntemi ile incelenmiştir.

Tez aşamasında ve ilerlemesinde hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan değerli hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Metin AYDOĞAN 'a sonsuz şükranlarımı sunar, verdikleri maddi ve manevi destekten dolayı aileme teşekkür ederim.

Mayıs, 2005

Emre Eraslan ÖVEN

## İÇİNDEKİLER

|  |             |
|--|-------------|
| <b>KISALTMALAR</b>   | <b>vi</b>   |
| <b>TABLO LİSTESİ</b>   | <b>vii</b>  |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>   | <b>ix</b>   |
| <b>SEMBOL LİSTESİ</b>  | <b>xiii</b> |
| <b>ÖZET</b>  | <b>xv</b>   |
| <b>SUMMARY</b>   | <b>xvi</b>  |
| <br>   |             |
| <b>1. GİRİŞ</b>  | <b>1</b>    |
| <br>   |             |
| <b>2. PERFORMANS KAVRAMI</b>   | <b>4</b>    |
| 2.1. Giriş   | 4           |
| 2.2. Performans Seviyeleri   | 4           |
| 2.2.1. Yapısal Performans Seviyeleri ve Aralıkları                           | 5           |
| 2.2.2. Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri                                 | 7           |
| 2.2.3. Yapı Performans Seviyeleri  | 9           |
| 2.3. Yer Hareketi  | 10          |
| 2.4. Performans Amaçları   | 10          |
| 2.4.1. Performans Amaçlarının Sınıflandırılması                              | 10          |
| 2.4.2. Diğer Performans Amaçları   | 12          |
| 2.5. Performans Amaçlarının Kararlaştırılması                                | 13          |
| 2.5.1. Başlangıç Performans Amacı  | 13          |
| 2.5.2. Son Performans Amacı  | 14          |
| <br>   |             |
| <b>3. DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK ANALİZ (PUSHOVER ANALİZİ)</b>                  | <b>15</b>   |
| 3.1. Giriş   | 15          |
| 3.2. Basitleştirilmiş Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri                     | 17          |
| 3.2.1. Kapasiteyi Belirlemek İçin Adım Adım İşlemler                         | 18          |
| 3.2.2. Talep Spektrumunun Belirlenmesi İçin Kullanılan Yöntemler             | 20          |
| 3.2.3. Kapasite Spektrum Yöntemi Kullanılarak Sismik Talebin Hesaplanması    | 21          |
| 3.2.3.1. Kapasite Spektrum Yönteminin Kavramsal İfadesi                      | 22          |
| 3.2.3.2. Kapasite Spektrumunun Kırıklı Hale Getirilmesi                      | 25          |
| 3.2.3.3. Elastik Spektrum Eğrisinin Elde Edilmesi                            | 26          |
| 3.2.3.4. Etkin Sönümün Tahmini ve %5 Sönümlü Talep Spektrumunun İndirgenmesi | 28          |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.2.4. Performans Noktasının Hesaplanması  | 31        |
| 3.2.4.1. Kapasite ve Talep Spektrumlarının Kesişimi  | 31        |
| 3.2.4.2. Yöntem A'yı Kullanarak Performans Noktasının Hesaplanması                           | 32        |
| <b>4. DEPLASMAN KATSAYILARI YÖNTEMİ</b>  | <b>35</b> |
| <b>5. ALTI KATLI MEVCUT BİR BETONARME BİNANIN DEPREM GÜVENLİĞİNİN BELİRLENMESİ</b>           | <b>38</b> |
| 5.1. Giriş   | 38        |
| 5.2. Yapı Elemanlarına Ait Birim Ağırlıklar ve Kesit Özellikleri                             | 40        |
| 5.3. Yapıya ait Modal Analiz Sonuçları   | 42        |
| 5.4. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile Yatay Yüklerin Hesabı                                   | 45        |
| 5.4.1 Yapının X Yönü için Yatay Yük Hesabı   | 45        |
| 5.4.2 Yapının Y Yönü için Yatay yük Hesabı   | 46        |
| 5.5.Yapının Deprem Güvenliğinin Tahkiki  | 47        |
| 5.5.1. SAP 2000 Analiz Programı Kullanılarak Yapılan Tahkikler                               | 47        |
| 5.5.2. Yapının X Yönüne Ait Analiz Sonuçları   | 48        |
| 5.5.2.1. Eşit Deplasman Kuralı ile Performansın Belirlenmesi                                 | 48        |
| 5.5.2.2. Kapasite Spektrum Yöntemi ile Performansın Belirlenmesi                             | 52        |
| 5.5.2.3. Deplasman Katsayıları Metodu ile Talebin Bulunması                                  | 54        |
| 5.5.3. Yapının Y Yönüne Ait Analiz Sonuçları   | 56        |
| 5.5.3.1. Eşit Deplasman Kuralı ile Performansın Belirlenmesi                                 | 56        |
| 5.5.3.2. Kapasite Spektrum Yöntemi ile Performansın Belirlenmesi                             | 59        |
| 5.5.3.3. Deplasman Katsayıları Metodu ile Talebin Bulunması                                  | 62        |
| <b>6. 1975 DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE BİR YAPININ TASARIMI ve PERFORMANSININ BELİRLENMESİ</b> | <b>66</b> |
| 6.1. Yapıya Ait Özelliklerin Belirlenmesi  | 66        |
| 6.1.2. Kat Kütlelerinin,Kütlesel Atalet Momentlerinin ve Ağırlık Merkezinin Belirlenmesi     | 69        |
| 6.2. Yapı Ait Modal Analiz Sonuçları   | 71        |
| 6.3. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemiyle Yatay Yüklerin Hesabı                                    | 73        |
| 6.3.1.Yapının X ve Y Yönü İçin Yatay Yük Hesabı  | 73        |
| 6.4. Yapının Betonarme Tasarımı  | 74        |
| 6.4.1. Betonarme Tasarım Sonuçları   | 74        |
| 6.5. Yapının Performansının Belirlenmesi   | 75        |
| 6.5.1. Yapının X Yönüne Ait Performansın Belirlenmesi  | 76        |

|  |            |
|--|------------|
| 6.5.1.1. Eşit Deplasman Kuralına göre Performansın Belirlenmesi  | 76         |
| 6.5.1.2. Kapasite Spektrum Yöntemi ile Performansın Belirlenmesi | 79         |
| 6.5.1.3. Deplasman Katsayıları Metodu ile Talebin Bulunması      | 81         |
| 6.5.2. Yapının Y Yönüne Ait Performansın Belirlenmesi            | 83         |
| 6.5.2.1. Eşit Deplasman Kuralına göre Performansın Belirlenmesi  | 83         |
| 6.5.2.2. Kapasite Spektrum Yöntemi ile Performansın Belirlenmesi | 86         |
| 6.5.2.3. Deplasman Katsayıları Metodu ile Talebin Bulunması      | 88         |
| <b>7. SONUÇLAR</b>   | <b>92</b>  |
| <b>KAYNAKLAR</b>   | <b>95</b>  |
| <b>EK-A</b>  | <b>96</b>  |
| <b>EK-B</b>  | <b>108</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>  | <b>128</b> |

## KISALTMALAR

|             |  |
|-------------|--|
| <b>ADRS</b> | : Acceleration-Displacement Response Spectra, İvme-Deplasman Talep Spektrumu |
| <b>ATC</b>  | : Applied Technology Council   |
| <b>CP</b>   | : Collapse Prevention, Göçmenin Önlenmesi                                    |
| <b>DC</b>   | : Damage Control, Hasar Kontrolü   |
| <b>DE</b>   | : Design Earthquake, Tasarım Depremi   |
| <b>IO</b>   | : Immediate Occupancy, Hemen Kullanım  |
| <b>LS</b>   | : Life Safety, Can Güvenliği   |
| <b>ME</b>   | : Maximum Earthquake, Maksimum Deprem  |
| <b>NP</b>   | : Nonstructural Performance, Yapısal Olmayan Performans                      |
| <b>NR</b>   | : Not Recommend, Tavsiye Edilmez   |
| <b>OP</b>   | : Operational, İşletilebilirlik  |
| <b>RC</b>   | : Reinforced Concrete, Betonarme   |
| <b>SE</b>   | : Service Earthquake, Kullanma veya Servis Depremi                           |
| <b>SS</b>   | : Structural Stability, Yapısal Stabilité                                    |
| <b>SP</b>   | : Structural Performance, Yapısal Performans                                 |
| <b>TGD</b>  | : Temel Güvenlik Depremi   |

## TABLO LİSTESİ

|  | <u>Sayfa No</u> |
|--|-----------------|
| <b>Tablo 2.1</b> Yapı performans seviyeleri (Yapısal ve yapısal olmayan performans seviyeleri).....  | 5               |
| <b>Tablo 2.2</b> Performans amaçlarının sınıflandırılması.....   | 11              |
| <b>Tablo 2.3a</b> California'daki bazı binalarda kullanılan performans amaçları.....   | 12              |
| <b>Tablo 2.3b</b> Normal binalar için örnek performans seviyeleri.....   | 13              |
| <b>Tablo 2.3c</b> Performans amaçlarının ekonomiklik durumları.....  | 13              |
| <b>Tablo 3.1</b> Analitik işlemlerin algoritması.....  | 16              |
| <b>Tablo 3.2</b> Performans hesabı için yöntem seçim tablosu.....  | 22              |
| <b>Tablo 3.3</b> Deprem bölge katsayısı $Z$ .....  | 26              |
| <b>Tablo 3.4</b> Zemin sınıflarının tanımı.....  | 27              |
| <b>Tablo 3.5</b> Bilinen bir deprem kaynağına olan mesafe katsayısı $N_A$ ve $N_V$ .....   | 27              |
| <b>Tablo 3.6</b> Zeminin etkili maksimum ivme katsayısı, $C_A$ .....   | 27              |
| <b>Tablo 3.7</b> $T=1$ sn olan %5 sönümlü sistemin spektrum değerini veren katsayı, $C_V$ .....  | 27              |
| <b>Tablo 3.8</b> Yapı davranış türü.....   | 29              |
| <b>Tablo 3.9</b> Sönüm düzeltme katsayısı $\kappa$ .....   | 29              |
| <b>Tablo 3.10</b> Spektral azaltma katsayıları $SR_A$ ve $SR_V$ .....  | 30              |
| <b>Tablo 3.11</b> Spektral azaltma katsayıları $SR_A$ ve $SR_V$ 'nin minimum değerleri...  | 31              |
| <b>Tablo 5.1</b> Kolon donatıları.....   | 41              |
| <b>Tablo 5.2</b> Kiriş donatıları ve akma momentleri.....  | 42              |
| <b>Tablo 5.3</b> Kat ağırlıkları .....   | 43              |
| <b>Tablo 5.4</b> Kat kütleleri ve kütleli atalet momentleri.....   | 44              |
| <b>Tablo 5.5</b> Yapıya ait modal analiz sonuçları.....  | 44              |
| <b>Tablo 5.6</b> Yapıya ait X yönü eşdeğer deprem kuvvetleri.....  | 46              |
| <b>Tablo 5.7</b> Yapıya ait Y yönü eşdeğer deprem kuvvetleri.....  | 46              |
| <b>Tablo 5.8</b> Kullanılan üç yöntemle göre X ve Y yönlerine ait göçme yüklerinin ve nihai çatı deplasmanlarının karşılaştırılması.....             | 64              |
| <b>Tablo 6.1</b> Zemin kat tavanı kat kütlesi, kütleli atalet momenti ve ağırlık merkezi.....  | 69              |
| <b>Tablo 6.2</b> 1.Normal kat tavanı kat kütlesi, kütleli atalet momenti ve ağırlık merkezi.....   | 70              |
| <b>Tablo 6.3</b> 2.Normal kat tavanı kat kütlesi, kütleli atalet momenti ve ağırlık merkezi.....   | 71              |
| <b>Tablo 6.4</b> Yapıya ait modal analiz sonuçları.....  | 71              |
| <b>Tablo 6.5</b> Yapının X ve Y yönlerinde katlara gelen eşdeğer deprem yükleri ve burulma momentleri.....   | 73              |
| <b>Tablo 6.6</b> Tasarıma esas olan kombinasyonlar .....   | 74              |
| <b>Tablo 6.7</b> Kullanılan üç yöntemle göre X ve Y yönlerine ait performans durumundaki çatı deplasmanı ve taban kesme kuvveti karşılaştırması..... | 90              |

|                   |  |     |
|-------------------|--|-----|
| <b>Tablo A.1</b>  | Altı katlı konut yapısı zemin kat tavanı yükleri,ağırlık merkezi ve kütleli atalet momenti.....  | 100 |
| <b>Tablo A.2</b>  | Altı katlı konut yapısı Normal kat tavanı yükleri,ağırlık merkezi ve kütleli atalet momenti..... | 101 |
| <b>Tablo B.1</b>  | Zemin kat tavanı XZ düzlemi kirişleri donatıları.....  | 110 |
| <b>Tablo B.2</b>  | Zemin kat tavanı YZ düzlemi kirişleri donatıları.....  | 111 |
| <b>Tablo B.3</b>  | 1. Normal kat tavanı XZ düzlemi kirişleri donatıları.....  | 112 |
| <b>Tablo B.4</b>  | 1. Normal kat tavanı YZ düzlemi kirişleri donatıları.....  | 112 |
| <b>Tablo B.5</b>  | 2. Normal kat tavanı XZ düzlemi kirişleri donatıları.....  | 113 |
| <b>Tablo B.6</b>  | 2. Normal kat tavanı YZ düzlemi kirişleri donatıları.....  | 114 |
| <b>Tablo B.7</b>  | 1.Kat kolonları donatı ve boyutları.....   | 115 |
| <b>Tablo B.8</b>  | 2.Kat kolonları donatı ve boyutları.....   | 116 |
| <b>Tablo B.9</b>  | 3.Kat kolonları donatı ve boyutları.....   | 117 |
| <b>Tablo B.10</b> | 60/35 boyutundaki 16Φ18 donatıya sahip kolonun P-M3 ve P-M2 değerleri.....                       | 118 |
| <b>Tablo B.11</b> | 60/35 boyutundaki 16Φ16 donatıya sahip kolonun P-M3 ve P-M2 değerleri.....                       | 119 |
| <b>Tablo B.12</b> | 60/35 boyutundaki 16Φ14 donatıya sahip kolonun P-M3 ve P-M2 değerleri.....                       | 119 |
| <b>Tablo B.13</b> | 60/40 boyutundaki 16Φ20 donatıya sahip kolonun P-M3 ve P-M2 değerleri.....                       | 120 |
| <b>Tablo B.14</b> | 60/40 boyutundaki 16Φ18 donatıya sahip kolonun P-M3 ve P-M2 değerleri.....                       | 120 |
| <b>Tablo B.15</b> | 60/40 boyutundaki 16Φ16 donatıya sahip kolonun P-M3 ve P-M2 değerleri.....                       | 121 |
| <b>Tablo B.16</b> | 60/40 boyutundaki 16Φ14 donatıya sahip kolonun P-M3 ve P-M2 değerleri.....                       | 121 |
| <b>Tablo B.17</b> | 65/40 boyutundaki 16Φ20 donatıya sahip kolonun P-M3 ve P-M2 değerleri.....                       | 122 |
| <b>Tablo B.18</b> | 65/40 boyutundaki 16Φ18 donatıya sahip kolonun P-M3 ve P-M2 değerleri.....                       | 122 |
| <b>Tablo B.19</b> | 65/40 boyutundaki 16Φ16 donatıya sahip kolonun P-M3 ve P-M2 değerleri.....                       | 123 |
| <b>Tablo B.20</b> | 35/65 boyutundaki 16Φ18 donatıya sahip kolonun P-M3 ve P-M2 değerleri.....                       | 124 |
| <b>Tablo B.21</b> | 35/65 boyutundaki 16Φ16 donatıya sahip kolonun P-M3 ve P-M2 değerleri.....                       | 124 |
| <b>Tablo B.22</b> | 35/65 boyutundaki 16Φ14 donatıya sahip kolonun P-M3 ve P-M2 değerleri.....                       | 125 |
| <b>Tablo B.23</b> | 35/70 boyutundaki 16Φ16 donatıya sahip kolonun P-M3 ve P-M2 değerleri.....                       | 125 |
| <b>Tablo B.24</b> | 35/70 boyutundaki 16Φ14 donatıya sahip kolonun P-M3 ve P-M2 değerleri.....                       | 126 |
| <b>Tablo B.25</b> | 40/70 boyutundaki 16Φ20 donatıya sahip kolonun P-M3 ve P-M2 değerleri.....                       | 126 |
| <b>Tablo B.26</b> | 40/70 boyutundaki 16Φ18 donatıya sahip kolonun P-M3 ve P-M2 değerleri.....                       | 127 |
| <b>Tablo B.27</b> | 40/70 boyutundaki 16Φ16 donatıya sahip kolonun P-M3 ve P-M2 değerleri.....                       | 127 |



## ŞEKİL LİSTESİ

|  | <b><u>Sayfa No</u></b> |
|--|------------------------|
| Şekil 2.1 : Bina performans seviyeleri ile güçlendirme maliyeti arasındaki ilişki.....   | 12                     |
| Şekil 3.1 : Taban kesme kuvveti ile çatı deplasmanı arasındaki ilişki.....   | 18                     |
| Şekil 3.2 : Geleneksel talep spektrumunun ADRS formatına dönüştürülmesi.....   | 24                     |
| Şekil 3.3 : Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun üst üste çizilmiş şekli.....   | 25                     |
| Şekil 3.4 : Kapasite spektrumunun kırıklı gösterimi.....   | 25                     |
| Şekil 3.5 : Talep spektrumu ile kapasite spektrumunun birlikte gösterimi..   | 26                     |
| Şekil 3.6 : %5 Sönümlü elastik deprem spektrumu.....   | 28                     |
| Şekil 3.7 : Spektral azaltma için sönüm elde edilmesi.....   | 28                     |
| Şekil 3.8 : %5 Sönümlü talep spektrumunun indirgenmesi.....  | 30                     |
| Şekil 3.9 : Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun kabul edilebilir toleranslar içindeki kesişim noktası.....                   | 31                     |
| Şekil 3.10 : Talep ve kompozit (dişli) kapasite spektrumlarının kesişim noktası.....   | 32                     |
| Şekil 3.11 : Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun kesiştirilmesi.....   | 32                     |
| Şekil 3.12 : Başlangıç performans noktasının bulunması.....  | 33                     |
| Şekil 3.13 : Kapasite spektrumunun kırıklı hale dönüştürülmesi.....  | 33                     |
| Şekil 3.14 : İndirgenmiş talep spektrumunun bulunması .....  | 34                     |
| Şekil 3.15 : İndirgenmiş talep spektrumu ile kapasite spektrumunun kesiştirilmesi.....   | 34                     |
| Şekil 4.1 : İki doğru parçası ile idealleştirilen kapasite eğrisi.....   | 35                     |
| Şekil 5.1 : Yapıya ait üç boyutlu model.....   | 40                     |
| Şekil 5.2 : Yapıya ait tipik kolon kesitleri ve donatı yerleşimi.....  | 41                     |
| Şekil 5.3 : Yapının X yönüne ait kapasite eğrisi.....  | 49                     |
| Şekil 5.4 : Yapının X yönünde eşit deplasman kuralı ile performansın belirlenmesi.....   | 49                     |
| Şekil 5.5 : Eşit deplasman kuralına göre performans noktasında plastik mafsalların yerleri ve durumları.....                       | 51                     |
| Şekil 5.6 : Konumu XZ düzlemi $Y=-3.2m$ olan çerçevenin performans durumunda plastik mafsalların yerleri ve durumları.....         | 51                     |
| Şekil 5.7 : Kapasite spektrumu yöntemine göre performans noktasının koordinatları.....   | 52                     |
| Şekil 5.8 : Kapasite spektrum metoduna göre performans noktasında plastik mafsalların yerleri ve durumları.....                    | 53                     |
| Şekil 5.9 : Konumu XZ düzlemi $Y=-3.2m$ olan çerçevenin performans noktasında plastik mafsalların yerleri ve performans seviyeleri | 53                     |

|                   |  |    |
|-------------------|--|----|
| <b>Şekil 5.10</b> | : Kapasite eğrisinin kırıklı hale getirilmesi ve hedef deplasmanın bulunması.....  | 54 |
| <b>Şekil 5.11</b> | : Hedef deplasman durumunda plastik mafsalların yerleri ve performans seviyeleri.....  | 55 |
| <b>Şekil 5.12</b> | : Yapının Y yönüne ait kapasite eğrisi.....  | 56 |
| <b>Şekil 5.13</b> | : Yapının Y yönünde performans noktasının eşit deplasman kuralı ile bulunması.....   | 57 |
| <b>Şekil 5.14</b> | : Yapının Y yönünde eşit deplasman kuralına göre performans durumunda plastik mafsalların yerleri ve performans seviyeleri.....                      | 58 |
| <b>Şekil 5.15</b> | : Yapının Y yönünde davranışı incelenecek bir çerçevenin hacimlendirilmiş görünüşü çerçeve konumu YZ düzlemi X=12.5m.....                            | 58 |
| <b>Şekil 5.16</b> | : Yapının Y yönünde eşit deplasman kuralına göre performans durumunda, incelenen çerçevede plastik mafsalların yerleri ve performans seviyeleri..... | 59 |
| <b>Şekil 5.17</b> | : Yapının Y yönünde kapasite spektrumu metoduna göre performans noktasının koordinatları.....  | 60 |
| <b>Şekil 5.18</b> | : Yapının Y yönünde kapasite spektrumu metoduna göre performans durumunda plastik mafsalların yerleri ve performans seviyeleri.....                  | 61 |
| <b>Şekil 5.19</b> | : Performans durumuna gelmiş yapıda konumu belirtilen çerçevede plastik mafsalların yerleri ve performans seviyeleri..                               | 61 |
| <b>Şekil 5.20</b> | : Deplasman katsayıları yöntemi için kapasite eğrisinin kırıklı hale getirilmesi ve akma taban kesme kuvvetinin bulunması...                         | 62 |
| <b>Şekil 5.21</b> | : Yapının Y yönünde deplasman katsayıları yöntemine göre hedef deplasmana ulaştığında plastik mafsalların yerleri ve performans seviyeleri.....      | 63 |
| <b>Şekil 5.22</b> | : Hedef deplasmana gelmiş yapıda konumu belirtilen çerçevede meydana gelen plastik mafsalların yerleri ve performans seviyeleri.....                 | 63 |
| <b>Şekil 5.23</b> | : X yönü görelî kat ötelenmeleri.....  | 64 |
| <b>Şekil 5.24</b> | : Y yönü görelî kat ötelenmeleri.....  | 65 |
| <b>Şekil 6.1</b>  | : Okul binası 3 boyutlu SAP2000 modeli.....  | 67 |
| <b>Şekil 6.2</b>  | : Yapı sabit yükleri.....  | 68 |
| <b>Şekil 6.3</b>  | : Yapı hareketli yükleri.....  | 68 |
| <b>Şekil 6.4</b>  | : Yapı 1. mod şekli.....   | 72 |
| <b>Şekil 6.5</b>  | : Yapı 2. mod şekli.....   | 72 |
| <b>Şekil 6.6</b>  | : Yapı betonarme dizayn sonuçları.....   | 74 |
| <b>Şekil 6.7</b>  | : XZ düzlemi Y=5.5m bulunan çerçeveye ait donatı miktarları...   | 75 |
| <b>Şekil 6.8</b>  | : X yönü kapasite eğrisi.....  | 76 |
| <b>Şekil 6.9</b>  | : X yönünde eşit deplasman kuralına göre performans noktasının bulunuşu.....   | 77 |
| <b>Şekil 6.10</b> | : X yönünde eşit deplasman kuralına göre performans durumunda plastik mafsalların yerleri ve durumları.....  | 78 |
| <b>Şekil 6.11</b> | : XZ düzlemi Y=5,5m de bulunan çerçevede performans durumunda plastik mafsalların yerleri ve durumları.....  | 78 |

|                   |   |     |
|-------------------|---|-----|
| <b>Şekil 6.12</b> | : X yönünde kapasite spektrum metoduna göre performans noktasının bulunuşu ve koordinatları.....  | 79  |
| <b>Şekil 6.13</b> | : X yönünde kapasite spektrum metoduna göre performans noktasında plastik mafsalların yerleri ve durumları.....                           | 80  |
| <b>Şekil 6.14</b> | : XZ düzlemi Y=5,5m de bulunan çerçevede performans durumunda plastik mafsalların yerleri ve durumları.....                               | 80  |
| <b>Şekil 6.15</b> | : Deplasman katsayıları yöntemi için kapasite eğrisinin kırıklı hale getirilmesi ve akma taban kesme kuvvetinin bulunması.....            | 81  |
| <b>Şekil 6.16</b> | : Deplasman katsayıları metoduna göre hedef deplasman durumunda, plastik mafsalların yerleri ve durumları.....                            | 82  |
| <b>Şekil 6.17</b> | : XZ düzlemi Y=5,5m de bulunan çerçevede hedef deplasmana ulaşıldığında plastik mafsalların yerleri ve durumları.....                     | 83  |
| <b>Şekil 6.18</b> | : Yapının Y yönüne ait kapasite eğrisi.....   | 83  |
| <b>Şekil 6.19</b> | : Y yönünde eşit deplasman kuralına göre performans noktasının bulunması.....   | 84  |
| <b>Şekil 6.20</b> | : Y yönünde eşit deplasman kuralına göre performans durumunda plastik mafsalların yerleri ve durumları.....                               | 85  |
| <b>Şekil 6.21</b> | : Y yönünde X=6,55m de bulunan çerçevede performans durumunda plastik mafsalların durumları.....  | 85  |
| <b>Şekil 6.22</b> | : Kapasite spektrum yöntemi ile performans noktasının bulunması.....  | 86  |
| <b>Şekil 6.23</b> | : Y yönünde kapasite spektrum yöntemine göre performans durumunda plastik mafsalların yerleri ve durumları.....                           | 87  |
| <b>Şekil 6.24</b> | : Y yönünde performans durumunda X=6,55m de bulunan çerçevede plastik mafsalların durumları.....  | 87  |
| <b>Şekil 6.25</b> | : Deplasman katsayıları metoduna göre Y yönünde kapasite eğrisinin kırıklı hale getirilmesi ve akma taban kesme kuvvetinin bulunması..... | 88  |
| <b>Şekil 6.26</b> | : Deplasman katsayıları metoduna göre hedef deplasmana ulaşıldığında plastik mafsalların yerleri ve durumları.....                        | 89  |
| <b>Şekil 6.27</b> | : Y yönünde X=6,55m de bulunan çerçevede hedef deplasmana ulaşıldığında plastik mafsalların durumları.....                                | 90  |
| <b>Şekil 6.28</b> | : X yönü göreli kat ötelenmeleri.....   | 91  |
| <b>Şekil 6.29</b> | : Y yönü göreli kat ötelenmeleri.....   | 91  |
| <b>Şekil A.1</b>  | : Altı katlı konut yapısı zemin kat tavanı kalıp planı.....   | 96  |
| <b>Şekil A.2</b>  | : Altı katlı konut yapısı zemin kat tavanı kalıp planı.....   | 97  |
| <b>Şekil A.3</b>  | : Altı katlı konut yapısı normal kat tavanı kalıp planı.....  | 98  |
| <b>Şekil A.4</b>  | : Altı katlı konut yapısı normal kat tavanı kalıp planı.....  | 99  |
| <b>Şekil A.5</b>  | : Zemin-1.normal kat arası 100/20 boyutundaki kolona ait P-M3 diagramı.....   | 102 |
| <b>Şekil A.6</b>  | : Zemin-1.normal kat arası 100/20 boyutundaki kolona ait P-M2 diagramı.....   | 102 |
| <b>Şekil A.7</b>  | : Zemin-1.normal kat arası 100/20 boyutundaki kolona ait M3- $\chi$ diagramı.....   | 103 |
| <b>Şekil A.8</b>  | : Zemin-1.normal kat arası 100/20 boyutundaki kolona ait M2- $\chi$ diagramı.....   | 103 |

|                   |  |     |
|-------------------|--|-----|
| <b>Şekil A.9</b>  | : 3.,4.,5.ve 6. katlarda 100/20 boyutundaki kolona ait P-M3 diagramı.....  | 104 |
| <b>Şekil A.10</b> | : 3.,4.,5.ve 6. katlarda 100/20 boyutundaki kolona ait P-M2 diagramı.....  | 104 |
| <b>Şekil A.11</b> | : Zemin-1.normal kat arası 60/25 boyutundaki kolona ait P-M3 diagramı.....   | 105 |
| <b>Şekil A.12</b> | : Zemin-1.normal kat arası 60/25 boyutundaki kolona ait P-M2 diagramı.....   | 105 |
| <b>Şekil A.13</b> | : 2.ve3. katlardaki 60/25 boyutundaki kolona ait P-M3 diagramı   | 106 |
| <b>Şekil A.14</b> | : 2.ve3. katlardaki 60/25 boyutundaki kolona ait P-M2 diagramı   | 106 |
| <b>Şekil A.15</b> | : 4.ve5. katlardaki 60/25 boyutundaki kolona ait P-M3 diagramı   | 107 |
| <b>Şekil A.16</b> | : 4.ve5. katlardaki 60/25 boyutundaki kolona ait P-M2 diagramı   | 107 |
| <b>Şekil B.1</b>  | : Okul binası zemin kat tavanı kalıp planı.....  | 108 |
| <b>Şekil B.2</b>  | : Okul binası normal kat tavanı kalıp planı.....   | 109 |
| <b>Şekil B.3</b>  | : Zemin kat tavanı Sap2000 modeli düğüm nokta numaraları.....  | 110 |
| <b>Şekil B.4</b>  | : 1.Normal kat tavanı Sap2000 modeli düğüm nokta numaraları.....   | 111 |
| <b>Şekil B.5</b>  | : 2.Normal kat tavanı Sap2000 modeli düğüm nokta numaraları.....   | 113 |
| <b>Şekil B.6</b>  | : Boyutları 60/35, 60/40 ve 65/40 olan kolonlarda 33 ve 22 lokal akslarının yönleri ve tipik donatı yerleşimi..... | 118 |
| <b>Şekil B.7</b>  | : Boyutları 35/65, 35/70 ve 40/70 olan kolonlarda 33 ve 22 lokal akslarının yönleri ve tipik donatı yerleşimi..... | 123 |

## SEMBOL LİSTESİ

|                 |  |
|-----------------|--|
| $A_c$           | : Brüt en kesit alanı  |
| $A_s$           | : Kolonlarda, toplam donatı alanı, kirişlerde ise açıklık ve mesnet çekme donatılarının toplam alanıdır. |
| $A_o$           | : Etkin yer ivmesi katsayısı   |
| $C_A$           | : Zeminin etkili maksimum ivme katsayısı   |
| $C_V$           | : Periyodu 1 sn. olan %5 sönümlü sistemin spektrum değeri  |
| $E$             | : Deprem etki türü katsayısı   |
| $E_c$           | : Betonun elastisite modülü  |
| $E_D$           | : Bir çevrimde sönümle tüketilen enerji  |
| $E_s$           | : Beton çeliğinin elastisite modülü  |
| $E_{SO}$        | : Aynı yük altındaki maksimum şekil değiştirme enerjisi  |
| $f_{ck}$        | : Betonun karakteristik basınç dayanımı  |
| $F_i$           | : Yatay Kuvvet   |
| $f_{yk}$        | : Beton çeliğinin karakteristik akma dayanımı  |
| $f_{cd}$        | : Betonun hesap basınç dayanımı  |
| $f_{yd}$        | : Beton çeliğinin hesap akma gerilmesi   |
| $g$             | : Yerçekimi ivmesi   |
| $g$             | : Yapının öz ağırlığı  |
| $h$             | : En kesit yüksekliği  |
| $H$             | : Binanın toplam yüksekliği  |
| $H_i$           | : i.Katın yerden yüksekliği  |
| $I$             | : Bina önem kat sayısı   |
| $I_{i,küttele}$ | : i.Katın kütle atalet momenti   |
| $l_p$           | : Plastik bölge uzunluğu   |
| $M$             | : Moment   |
| $m_i$           | : i.Katın kütlesi  |
| $N_d$           | : Eksenel kuvveti  |
| $N_{A-v}$       | : Bilinen bir deprem kaynağına olan mesafe katsayıları   |
| $P_{göçme}$     | : Göçme anındaki yatay yük parametresi   |
| $R_a(T_1)$      | : Deprem yükü azaltma katsayısı  |
| $q$             | : Hareketli yük katsayısı  |
| $S_a$           | : Spektral ivme  |
| $S_d$           | : Spektral yer değiştirme  |
| $SR_A$          | : Spektral azaltma katsayısı   |
| $SR_V$          | : Spektral azaltma katsayısı   |
| $S(T_1)$        | : Spektrum katsayısı   |
| $T$             | : Periyot  |
| $T_{a-b}$       | : Zeminin spektrum karakteristik periyotları   |
| $V_b$           | : Taban kesme kuvveti  |
| $w_i$           | : i.Katın ağırlığı   |
| $W$             | : Binanın toplam ağırlığı  |
| $Z$             | : Deprem bölge katsayısı   |

|                        |   |
|------------------------|---|
| $\alpha_1$             | : Modal kütle katsayısı   |
| $\beta_{eff}$          | : Etkili toplam sönüm oranı   |
| $\beta_o$              | : Eşdeğer viskoz sönüm  |
| $\chi$                 | : Eğrilik   |
| $\delta$               | : Yer değiştirme  |
| $\Delta_{\text{çatı}}$ | : Yapının en tepesindeki deplasman  |
| $\epsilon_{cu}$        | : Betonda izin verilebilen en büyük birim kısalma                           |
| $\epsilon_{co}$        | : Betonda plastik şekil değiştirmenin başlamasına karşı gelen birim kısalma |
| $\epsilon_{su}$        | : Beton çeliğinin akmaya karşı gelen en büyük birim boy değişimi            |
| $\phi_{Xi}$            | : i.Katta X eksen doğrultusundaki modun şekli                               |
| $\phi_{Yi}$            | : i.Katta Y eksen doğrultusundaki modun şekli                               |
| $\Phi$                 | : Donatı çapı   |
| $\Gamma_1$             | : Birinci doğal titreşim modu için modal katılım katsayısı                  |
| $\kappa$               | : Çevrimsel sönüm düzeltme katsayısı  |

## STATİK İTME YÖNTEMİ İLE YAPILARIN TAHKİKİ

### ÖZET

Bu çalışmada yapı sistemlerinin gerçek davranışlarının dikkate alınarak yapıldığı bir analiz yöntemi olan statik itme yöntemi kullanılarak iki ayrı binanın yatay yükler altındaki davranışları ve performansları incelenmiştir. Performans eşit deplasman kuralına, kapasite spektrum yöntemine ve hedef deplasman yöntemine göre bulunmuş sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Yedi bölüm halindeki çalışmanın birinci bölümünde konunun tanıtılması ve yöntemin kullanılabilirliği üzerinde durulmuştur.

İkinci bölümde performans kavramı anlatılmış ve hasar tespit seviyeleri gösterilmiştir. Üçüncü bölümde statik itme yöntemi ile analiz, yapının kapasite eğrisinin elde edilmesi, kapasite spektrum yöntemi ve performansın bu yöntemle nasıl bulunacağı üzerinde durulmuştur.

Dördüncü bölümde yerdeğiştirme katsayısı yöntemi anlatılmış bu yöntemi kullanarak hedef yerdeğiştirmenin nasıl bulunacağı açıklanmıştır.

Beşinci bölümde 1975 deprem yönetmeliğine göre yapılmış, beton kalitesi düşük, yetersiz sargı donatısına sahip ve taşıyıcı sistemi düzenli olmayan mevcut altı katlı bir bina üç boyutlu olarak modellenmiştir. Statik itme yöntemi kullanılarak binanın yatay yükler altındaki davranışı incelenmiştir. Binanın performansı önceki bölümlerde anlatılan yöntemlerle bulunmuş ve bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Altıncı bölümde üç katlı bir okul binası 1975 deprem yönetmeliği esas alınarak yatay yüklere göre dizayn edilmiş ve donatıları belirlenmiştir. Donatısı belirlenen binanın, düşük beton kalitesi ve yetersiz sargı donatısı durumunda yatay yükler altındaki davranışı statik itme yöntemi ile incelenmiştir. Performansı yukarıda bahsedilen üç değişik yöntemle bulunmuştur ve bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Son bölümde bu çalışmada yapılanların kısa bir özeti ve çıkarılan bazı sonuçlar açıklanmıştır.

Ekte ise, altı katlı binaya ait kalıp planları, yükler, ağırlık merkezinin ve kütleli atalet momentlerinin bulunması, okul binasına ait kalıp planları, seçilen kiriş donatıları, kolon donatıları ve kolonlara ait karşılıklı etki diagramı değerleri verilmiştir.

## **DETERMINATION OF STRUCTURES' CAPACITY AND PERFORMANCE BY USING NONLINEAR STATIC ANALYSIS PROCEDURE**

### **SUMMARY**

In this study, two reinforced concrete buildings' behaviour under lateral loads is inspected by using nonlinear static analysis procedures which consider the real behaviour of structural elements under seismic loading, with checking the change of bending rigidities according to lateral and vertical deformations. Performance points are determined by equal displacement rule, capacity spectrum method and target displacement method.

The study holds seven chapters. In the first chapter there is an introduction to subject and purpose of handling it.

In the second chapter performance concept is described, and failure scales are shown. For the third chapter doing analysis with nonlinear static procedures, to construct the capacity curve, capacity spectrum method and how to get the performance point with using this method is described.

In the fourth chapter displacement coefficient method is described and calculating demand displacement using the displacement coefficient method is explained.

In the fifth and sixth chapters, two reinforced concrete buildings are modelled with SAP2000 program and showed applications of the methods which described previous chapters.

In the last chapter there is a brief summary of this study and some of the results obtained from this study are discussed.

In the attachments, model, the tables of loads, mass moments of inertia, reinforcement of columns and beams, interaction diagram values of columns are submitted.



## 1. GİRİŞ

Yapılar deprem sırasında şiddeti, süresi ve yönü net olarak belirli olmayan etkilere maruz kalırlar. Bu etkiler yapının deprem süresi içerisinde elastik ötesi deformasyonlar yapmasına neden olurlar. Oluşan deformasyonlar yapıda kalıcı hasarlar hatta yapının stabilitesinin bozulması sonucu yıkıma kadar giden can ve mal kayıplarına neden olabilmektedir.

Yapının deprem etkileri altındaki davranışını etkileyen etkenlerin başında malzemenin lineer olmayan davranışı, taşıyıcı sistem seçimi ve uygulama aşamasında projeye uygun olarak yapının imal edilmemesi sıralanabilir.

Yukarıda yapı davranışını etkileyen nedenlerden ilk ikisi direkt olarak yapı analizi ile ilgilidir. Yapının bu yatay kuvvetler altındaki davranışını yapı analizine tam olarak yansıtmak depreme dayanıklı yapı tasarımı açısından oldukça önemlidir. Ancak beton gibi davranışının oldukça karmaşık ve birçok parametreye bağlı olduğu artık bilinen bir yapı malzemesinin yapı analizine yansıtılması tabi ki birçok deney ve bu deneylerin sonuçlarına dayanılarak ortaya konan bazı kolaylaştırıcı varsayımları da beraberinde getirmektedir. Betonarme gibi bir kompozit yapı malzemesinin davranışı da dolayısı ile kendisini oluşturan beton ve çeliğin davranışlarının bir kombinasyonu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tabiatı ile bu kadar karmaşık bir davranışa sahip malzemenin yapı analizinde kullanılması davranışın bazı idealleştirmelerle basitleştirilmesini gerektirmektedir. Örneğin, moment eğrilik diagramlarının kırıklı olarak idealize edilmesi gibi. Tabi ki eleman davranışları yapının global davranışını etkilemekte ve yatay yükler altındaki davranışta bireysel eleman davranışlarının bir kombinasyonu olmaktadır. Sünek elemanlardan oluşturulmuş bir yapının davranışının da sünek olması gibi.

Bütün eleman davranışları yaklaşık olarak tanımlansa bile yapı deprem durumunda her bir zaman aralığında değişik yönlerde ve büyüklüklerde ivmelere maruz kalmaktadır bu da yapının her zaman aralığında çözülmesini gerektirmektedir. Bununla birlikte bir de yapının her zaman diliminde oluşan elastik ötesi şekil değiştirmeler nedeni ile değişen rijitliklerinin de dikkate alınması gerektiği düşünülürse yapı analizinin oldukça karmaşık ve zaman alıcı olacağı aşikardır. Nonlinear Time History analizi sadece eleman davranışlarındaki rijitlik değişimini dikkate almakla kalmaz aynı zamanda deprem kaydını da dikkate alarak gerçeğe yakın bir çözüm sunar ancak yukarıda da belirtildiği gibi bu pek de pratik olmayan bir çözüm yöntemidir.

Bu noktada Nonlinear Time History analizi yapmadan malzeme ve geometrideki lineer olmayan davranışı da dikkate alan bir çözüm olan Statik İtme Yöntemi Nonlinear Time History analizine oldukça yakın sonuçlar veren bir yaklaşım olarak görülmektedir.

Statik itme yöntemi adından da anlaşılacağı üzere yapıdaki düşey yükleri sabit tutarak yatay yüklerin kademeli olarak artırılması ile yapılan bir analizdir. Yapı elemanlarındaki lineer olmayan davranışı da dikkate alarak yapılan bu analizle yapı her yük artımında eleman rijitliklerindeki değişim de dikkate alınarak yapıdaki yatay yüklere karşı verilen cevaplar kayıt edilir.

Bu tip bir analizin gerçekleştirilebilmesi için öncelikle yapı elemanlarına ait moment eğrilik ve akma yüzeyi eğrilerinin çıkarılması gerekir. Çünkü yapıdaki lineer olmayan davranış kirişlerde moment eğrilik ilişkileri ile, kolonlarda ise buna ek olarak akma yüzeyleri ile tanımlanır. Tanımlanan bu özellikler plastik mafsallık özellikleri olarak adlandırılır. Plastik mafsallık çerçeve elemanlarında elastik ötesi davranışın olduğu noktalara örneğin kiriş ve kolon uçlarına oluşan plastik mafsallık boyunun tam ortasına tanımlanmak suretiyle atanır. Yapıdaki lineer olmayan davranış bu tanımlanan plastik mafsallarda dikkate alınır ve analizde elastik ötesi davranış program bu plastik mafsallık özelliklerinden okuyarak yapar.

Statik itme analizinden yapıya ait taban kesme kuvveti ve çatı deplasmanı değerleri elde edilir. Bu elde edilen eğri sayesinde yapının yatay yükler altındaki performansı

bulunabilir ve performansa ulaşmış bir yapıdaki elemanların hasar seviyeleri incelenebilir.

Statik itme yöntemi, özellikle üzerinden birkaç deprem geçirmiş veya henüz depreme maruz kalmamış, yapıldığı tarih itibariyle tabi olduğu şartnamelerde olmayan yeni düzenlemelere uymayan mevcut yapıların hangi bölgelerinde en çok hasar oluşacağını görmek açısından oldukça kullanışlıdır. Yapılmış olan ama güvenliği yetersiz olan yapılarda bu yöntem ile yapılan incelemeden elde edilecek güvenlik seviyeleri güçlendirmelerle yukarı çekilip sistemin sağlıklı hale getirilmesi sağlanabilmektedir.

Sonuç olarak statik itme yöntemi nonlinear time history analizine göre çok daha pratik ve elde edilen sonuçların yorumlanması ve kullanılması açısından çok kullanışlı bir analiz metodudur.

## **2. PERFORMANS KAVRAMI**

### **2.1 Giriş**

Performans kavramı, binaların olası depremlere karşı göstereceği davranışı ifade eder. Yani sismik performansı tanımlar. Sismik performans, belirli bir deprem etkisi altında, binalarda önceden kabul edilen sınırlar dahilinde oluşabilecek maksimum hasar durumlarının belirlenmesi şeklinde de tanımlanabilir. Bir performans amacı, sadece bir deprem durumu göz önüne alınarak belirlenebileceği gibi, birden fazla deprem durumu dikkate alınarak da belirlenebilir. Birden fazla deprem etkisini göz önüne alan bu performans amacı, “Çoklu Performans Amacı” olarak isimlendirilir.

Bir bina inşa edilmeden veya güçlendirilmeden önce bu binaya uygun performans amacı, bina sahibi ile ilgili mühendis tarafından ortak bir mutabakata varılarak belirlenmelidir. Performans amacı belirlendikten sonra ilgili mühendis analizlerde kullanılacak sismik talebe göre kabul edilebilirlik kriterleri çerçevesinde yapısal ve yapısal olmayan elemanların tasarımını veya kontrolünü kolaylıkla yapabilir. Hesaplarda kabul edilmiş düzeyde olan bir yer sarsıntısı meydana geldiği zaman güçlendirilmiş yapıların -şayet uygulamada bir yanlışlık yapılmamış ise- beklenen performans seviyesine hatta daha yüksek bir performans seviyesine ulaşması beklenir. Ancak pratikte her zaman böyle olmamaktadır. Bunun temel sebepleri arasında, uygulama hataları ve binadan alınan ilk donelerdeki olası yanlışlıklar sayılabilir. Bu bölümün amacı, bina performans seviyeleri, bunların kombinasyonları, performans seviyelerinin nasıl tespit edilebileceği ve deprem risk seviyeleri gibi konulara ilişkin ayrıntılı bilgi vermektir, [1,2].

### **2.2 Performans Seviyeleri**

Hakkında yeter derecede bilgi sahibi olunan bir bina ile belirli bir yer hareketi için hasar durumunun sınırlandırılması performans seviyeleri ile belirlenir. Bu performans seviyelerini belirleyen durumlar, binalardaki fiziksel hasarlar, bu

hasarların yarattığı can güvenliği tehdidi ve depremde sonra yapının kullanılabilirliği olarak tanımlanabilir.

Bina performans seviyeleri, yapısal ve yapısal olmayan performans seviyelerinin kombinasyonları şeklinde ifade edilir. Binalar için olası performans seviyeleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

**Tablo 2.1** Yapı Performans Seviyeleri (Yapısal ve Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri)

| <b>Yapı Performans Seviyeleri</b>                                 |   |                                 |                           |                                  |   |                                      |
|---|---|---------------------------------|---------------------------|----------------------------------|---|--------------------------------------|
| Yapısal Olmayan (Taşıyıcı Olmayan Sistemin) Performans Seviyeleri | Yapısal (Taşıyıcı Sistemin) Performans Seviyeleri |                                 |                           |                                  |   |                                      |
|   | SP-1<br>Hemen Kullanım                            | SP-2<br>Kontrollü Hasar Aralığı | SP-3<br>Can Güvenliği     | SP-4<br>Sınırlı Güvenlik Aralığı | SP-5<br>Toptan Göçmenin Önlenmesi (Yapısal Stabilitate) | SP-6<br>Hasarın Göz Önüne Alınmadığı |
| NP-A<br>İşlevsel  | 1-A<br>Kullanıma Devam (B)                        | 2-A                             | NR                        | NR                               | NR  | NR                                   |
| NP-B<br>Hemen Kullanım  | 1-B<br>Hemen Kullanım (IO)                        | 2-B                             | 3-B                       | NR                               | NR  | NR                                   |
| NP-C<br>Can Güvenliği   | 1-C   | 2-C                             | 3-C<br>Can Güvenliği (LS) | 4-C                              | 5-C   | 6-C                                  |
| NP-D<br>Azaltılmış Hasar  | NR  | 2-D                             | 3-D                       | 4-D                              | 5-D   | 6-D                                  |
| NP-E<br>Hasarın Göz Önüne Alınmadığı                              | NR  | NR                              | 3-E                       | 4-E                              | 5-E<br>Yapısal Stabilitate (CP)                         | Uygulanamaz                          |

NR: Tavsiye Edilmez

1-A, 1-B, 1-C, 2-C, 3-C, 4-C, 3-D, 4-D, 5-E : En çok kullanılan Performans Seviyeleridir.

### 2.2.1 Yapısal Performans Seviyeleri ve Aralıkları

- Hemen Kullanım Performans Seviyesi SP-1: Depremde sonra çok sınırlı hasar meydana gelmiştir. Binanın taşıyıcı sisteminin, depremde önceki

bütün taşıyıcılık özelliklerinin, düşey ve yatay yük taşıma kapasitesinin hemen hemen hiç değişmediği performans seviyesidir. Yapısal hasarlardan dolayı can güvenliğini tehdit eden bir risk yoktur. Bina, giriş, çıkış ve tam kullanım için güvenli durumdadır.

- Kontrollü Hasar Performans Aralığı SP-2: Bu seviye net bir performans seviyesi olmayıp, depremden sonraki hasar durumunu belirten bir performans aralığıdır. Bu aralık, can güvenliğinin ötesine giderek hasarın da belirli ölçüde sınırlandırılmasına karşı gelir. Yönetmeliklerde yeni binalar için 50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı %10 olarak tanımlanan deprem etkisinde öngörülen performans seviyesi bu aralığa tekabül eder. Ayrıca, tarihi ve mimari açıdan değerli olan eserlerin korunması amacıyla, hasarı kontrol altında tutan bu performans aralığı kullanılabilir.
- Can Güvenliği Performans Seviyesi SP-3: Yapıda deprem sonrası kayda değer hasarların meydana gelmesine rağmen, binada yerel veya toptan göçme söz konusu değildir. Binada halen bu duruma ulaşmayı engelleyecek ek bir kapasite mevcuttur. Yaralanmalar muhtemel olmasına rağmen, can güvenliği tehlikesi bulunmamaktadır. Bu tarz binalarda onarım ekonomik açıdan mümkün değilse bile, eğer bina tekrar kullanılacaksa binada geniş çaplı yapısal onarımlar mutlaka gereklidir.
- Sınırlı Güvenlik Performans Aralığı SP-4: Bu seviye de net bir performans seviyesi değildir. Binaların güçlendirilmesinde tam bir can güvenliğinin sağlanamaması durumunda göz önüne alınabilir. Bu seviyede, güçlendirme tüm yapısal elemanlar için gerekmecektir. Fakat, can güvenliği seviyesinden daha fazla, toptan göçme seviyesinden ise daha az bir güçlendirme mutlaka gerekecektir.
- Toplu Göçmenin Önlenmesi(Yapısal Stabilitate) Performans Seviyesi SP-5: Taşıyıcı sistem güç tükenme sınırında bulunmaktadır. Yatay kuvveti karşılayan taşıyıcı sistemde önemli hasarlar oluşmuş olup, yanal rijitlik ve dayanımda önemli oranda azalmalar başlamıştır. Buna rağmen sistemin yükünü taşıyan bütün önemli yapı bileşenleri yapının sabit ve hareketli yüklerini taşıyabilecek durumdadır. Yapı tüm stabilitesini kaybetmemesine rağmen deprem sonrası artçı şoklar sebebiyle bina her an yıkılma tehlikesiyle

karşı karşıyadır. Eğer, binanın tekrar kullanılması gerekiyorsa mutlaka geniş kapsamlı bir güçlendirme yapılmalıdır. Genellikle, bu derece hasarlı binaların, gerek teknik gerekse ekonomik açıdan güçlendirilmesi pek yerinde bir karar değildir. Ancak istisnai durumlarda güçlendirme yoluna gidilir. Toptan göçme tehlikesi bu performans seviyesinde kesin bir şekilde engellenememiştir. Bununla birlikte taşıyıcı olmayan performans seviyesi NP-E normal olarak SP-5 ile eşleşmek durumundadır. Diğer olasılıklar yapı zarar görse de içerisindeki eşyaların zarar görmemesinin gerektiği durumlarda geçerlidir. Özet olarak, bu seviye maksimum yer hareketine karşı yapının toptan göçmeye maruz kalmayacağı nihai noktadır. Bu seviyenin, yeni binalarda maksimum deprem etkisi altında sağlanması tavsiye edilir. Diğer bir önemli husus da, bu seviye ne kadar gerçeğe yakın görünse ve işlemleri uygun deneylerle açıklanabilse de henüz analitik bir yöntemle formülize edilebilmiş değildir.

- Taşıyıcı Elemanlarda Oluşan Hasarın Göz Önüne Alınmadığı Performans Aralığı SP-6: Bu da, tam manasıyla bir performans seviyesi değildir; fakat yapısal olmayan elemanların (duvarlar, asma tavan, yüzey kaplamaları, eşyalar vb.) sismik açıdan değerlendirilmesini ve güçlendirilmesini amaçlayan bir seviyeyi ifade eder. Örneğin, içerisinde manevi açıdan değeri oldukça yüksek olan eşyaların bulunduğu bir binanın yıkılması durumunda dahi içerisindeki eşyalara zarar gelmemesinin istendiği hallerde, binanın korunmasının yanında içerisindeki eşyalarında ayrıca korunmasının gerektiği bu seviyeyle ifade edilebilir.

### 2.2.2 Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri

NP-n ile simgelenirler. Yapısal olmayan performans seviyeleri, yapının taşıyıcı olmayan elemanlarında meydana gelen hasar seviyelerini açıklamaya yarar. Ayrıca, doğrudan değerlendirme ve güçlendirme aşamasındaki teknik kriterleri belirlemek için de kullanılırlar.

- İşlevsel Performans Seviyesi NP-A: Depremden sonra yapısal olmayan elemanlarda, kullanıma mani olabilecek bir durumunun söz konusu olmadığı performans seviyesidir. Bütün makine ve ekipmanlar çalışır durumdadır fakat bazı durumlarda bunlar üzerinde çok küçük onarımlar gerekebilir.

- Hemen Kullanım Performans Seviyesi NP-B: Genellikle, yapısal olmayan elemanlarda bir hasar söz konusu değildir. Fakat, bazı durumlarda giderilebilen küçük hasarlar görülebilir. Bu seviyede sismik güvenlik durumu etkilenmez.
- Can Güvenliği Performans Seviyesi NP-C: Binanın yapısal olmayan bileşenlerinde kayda değer zararların meydana geldiği, fakat binanın içinde ve dışında çok ağır hasar yada yıkılmaların meydana gelmediği, yapısal olmayan performans seviyelerinin üçüncüsü ve ortada olanıdır. İkincil zararlar olarak bilinen, gaz ileten boruların kırılmadan kalabildiği durumdur. Yapısal olmayan elemanlarda gerekli onarımlar yapılmadan onların işlevselliği sağlanamaz. Bunlara rağmen binada yerel veya toptan göçme söz konusu değildir. Binada bu duruma ulaşmayı önleyecek ek bir kapasite mevcuttur.
- Azaltılmış Hasar Performans Seviyesi NP-D: Parapetler, dış duvarlar, ağır asma tavanlar gibi yapısal (taşıyıcı) olmayan elemanların kısmi yada tam olarak göçmesi sonucu, çok sayıda insanın ciddi bir şekilde zarar görmesi veya ölmesi gibi sonuçlar doğurabilen fakat toptan göçmenin veya yıkılmanın olmadığı performans seviyesidir. Bu durumdaki binalar, sarsıntı sonrası içlerinde ve yakınlarında büyük bir tehdit oluşturmazlar. Yapısal olmayan elemanların onarım ve güçlendirilmesi için henüz herhangi bir teknik geliştirilmemiştir.
- Yapısal Olmayan Elemanların Hasarının Göz Önüne Alınmadığı Performans Seviyesi NP-E: Bu seviye esas itibarıyla tam bir performans seviyesini ifade etmemekle birlikte genel durum için bir dizayn olasılığı sunar. Her şeyden öte mühendis ve yapı sahibi için binanın durumunun saptanmasını kolaylaştırır.

Her ne kadar yapısal olmayan elemanların sistemin davranışına etki yapmadığı kabulüne göre hesaplar yapılsa da gerçekte durumun çok farklı olduğu ve iç duvarların deprem anında yük taşıdığı bir gerçektir<sup>1</sup>. İşte bu yüzden, deprem esnasında bir çok can kaybına sebebiyet veren yapısal olmayan elemanların inşasına da gereken önem verilmelidir.

---

<sup>1</sup> Yanal yüklerin yaklaşık %15'ini bölme duvarların taşıdığı ileri sürülüyor.



### 2.2.3 Yapı Performans Seviyeleri

Yapı performans seviyeleri, yapısal olan ve yapısal olmayan performans seviyelerinin birlikte düşünülmesi ve binadaki hasarları sınırlandırmak amacıyla bunların kombine edilmesi sonucunda oluşur. Mümkün olan kombinasyonlar Tablo 2.1’de gösterilmiştir. Kullanım açısından oldukça yaygın olan 1-A, 1-B, 3-C, 3-D, 5-E performans seviyeleri öncelikli olarak açıklanacaktır.

- Kullanıma Devam Performans Seviyesi 1-A (B): Binanın yapısal olan ve yapısal olmayan elemanlarındaki hasar, kullanıma devamı etkilemeyecek seviyededir. Binanın yedek sistemlerinin devreye girmesiyle kullanıma devam edilebilir. Binada hasar sınırlandırılmış olduğu için, can güvenliği problem değildir, hiçbir onarıma ihtiyaç yoktur ve hiçbir tereddüde kapılmadan bina kullanılabilir.
- Hemen Kullanım Performans Seviyesi 1-B (IO): Bu seviye, önemli binalar için öngörülen seviye olup, binanın bütün hacimleri ve sistemleri kullanılabilir durumdadır. Buralarda küçük onarımlara ihtiyaç duyulabilir.
- Can Güvenliği Performans Seviyesi 3-C (LS): Taşıyıcı sistemde hasar mevcut olduğu halde, önemli bir kapasite kalmıştır ve taşıyıcı olmayan elemanlarda hasar kontrol altındadır. Bu hasardan dolayı can güvenliğinin tehlikeye girmesi çok düşük bir olasılıktır. Sarsıntı anında eşyalar hareket edebilir, sarsıntı sonrası kimyasal tehlike ve yangın tehlikesi vardır. Bu performans seviyesi, günümüzde yönetmeliklerin yeni binalar için öngörmüş olduğu performans seviyesinden biraz daha düşük bir seviyedir. Yani yönetmelikler, binanın bu seviyedekinden daha fazla deplasman yapmasını öngörür.
- Bina Performans Seviyesi 3-D: Taşıyıcı elemanlardaki can güvenliği seviyesi ile taşıyıcı olmayan elemanlardaki azaltılmış hasar seviyesinin birleşimidir. Yönetmeliklerde bulunan 50 yıl/%10 olasılıklı deprem tanımını alarak yapılan ve deprem kuvvetlerinin %75’ini alacak şekilde gerçekleştirilen güçlendirme müdahalesinin böyle bir performans seviyesini sağladığı kabul edilebilir.
- Yapısal Stabilité (Toptan Göçmenin Önlendiği) Performans Seviyesi 5-E (CP): Binanın düşey yük taşıyan sistemi ancak ayaktadır. Artçı depremler için

herhangi bir kapasite kalmamıştır. Taşıyıcı olan ve olmayan elemanlardaki hasardan dolayı can güvenliği tehlikesi oldukça yüksektir.

### 2.3 Yer Hareketi

Performans amaçlarını şekillendirebilmek için yer hareketi ile arzu edilen performans seviyesi birleştirilmelidir. Yer hareketi, deprem oluşma ihtimali ile sarsılma şiddetinin her ikisinin birden kullanılması ile (probabilistik yaklaşım) veya belirli bir fay üzerinde sadece bir kez meydana gelmesi beklenen maksimum sarsıntı (deterministik yaklaşım) olarak da izah edilebilir. Yer hareketinin belirlenmesi tasarım için kesinlikle gereklidir. Yer hareketi, genel olarak üç başlık altında toplanabilir.

- İşlevsel Deprem (SE): 50 yıllık bir zaman diliminde meydana gelme olasılığı %50 olan yer hareketidir. Ortalama dönüş periyodu 75 yıl olan bu depremin binanın ömrü boyunca ortaya çıkması muhtemeldir.
- Dizayn (Tasarım) Depremi (DE): 50 yıllık bir zaman diliminde meydana gelme olasılığı %10 olan yer hareketidir. Ortalama dönüş periyodu yaklaşık 500 yıl olan bu depremin binanın ömrü boyunca ortaya çıkması çok sık görülmeyen bir olaydır.
- Maksimum Deprem (ME): 50 yıllık bir zaman diliminde meydana gelme olasılığı %2 olan yer hareketidir. Bu, ortalama dönüş periyodu yaklaşık 2500 yıl olacak şekilde, bölgedeki jeolojik bilgiler göz önüne alınarak belirlenebilecek en büyük deprem olarak kabul edilir. Bu depremin etkileri tasarım depremininkinin yaklaşık 1.25~1.5 katı kadardır. Deprem yönetmeliklerinde, tasarım depreminin etkisinin, bina önem katsayısı ile arttırılması suretiyle böyle bir deprem tanımlanmaya çalışılır.

### 2.4 Performans Amaçları

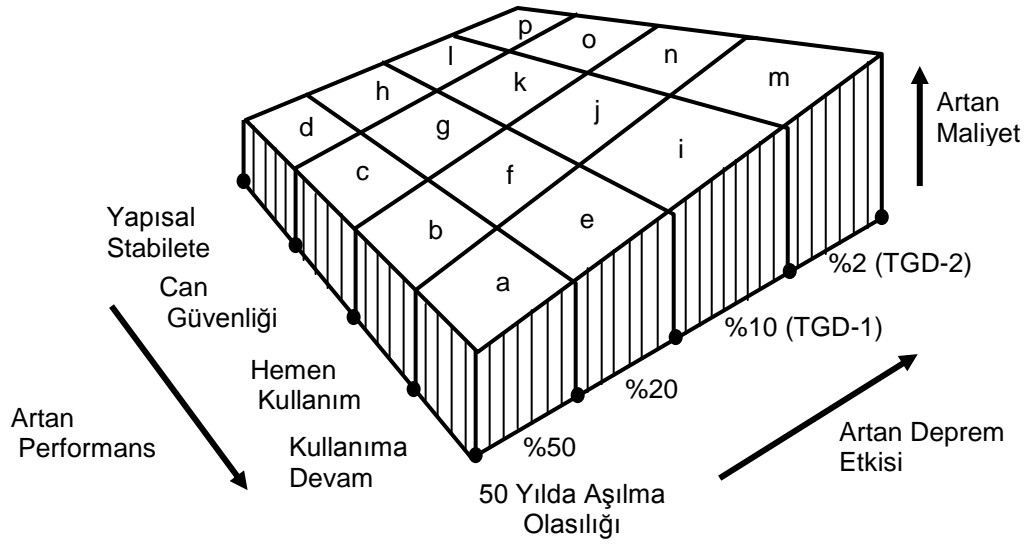
#### 2.4.1 Performans Amaçlarının Sınıflandırılması

Sismik performans amacı, büyüklüğü verilen yer hareketi için tahmin edilen bina performansının seçilmesi ile saptanır. Binanın depremden sonra kullanılabilmesi için, ileri seviyede bir amaç seçilebilir. Ancak, bu durumda güçlendirmenin ağır, maliyetinin de yüksek olacağı unutulmamalıdır. Güçlendirme işleminde bir bina için

göz önüne alınacak amaç, deprem etki seviyesine ve bina performans seviyesine bağlı olarak Tablo 2.2’de verilmiştir. Burada Temel Güvenlik Depremi 1 (TGD-1) ve Temel Güvenlik Depremi 2 (TGD-2) olmak üzere iki deprem etkisi tanımlanmıştır. Tablo 2.2’de verilen performans amaçlarından birinin seçiminde; seçilecek güvenlik seviyesinin ve kabul edilecek deprem etki seviyesinin belirlenmesinin yanında, binanın güçlendirme maliyeti ile depremden hemen sonra kullanılabilmesi durumu da etkili olacaktır. Şekil 2.1’de performans seviyelerinin güçlendirme maliyeti ile ilişkisi gösterilmiştir, [3]. Bir bina için tek performans seviyesi seçilebileceği gibi, birden fazla performans seviyesi de seçilebilir. Örneğin, TGD-1 depreminde can güvenliği performans seviyesi ve TGD-2 depreminde de yapısal stabilite performans seviyesi seçilebilir. Tablo 2.2’de verilen performans amaçlarından, ana köşegende yer alan a,f,k,p amaçları ana binalar için, alt köşegende bulunan e,j,o amaçları önemli binalar için ve i,n amaçları ise çok özel güvenliğe sahip olan binalar için önerilir.

**Tablo 2.2** Performans amaçlarının sınıflandırılması

| <b>Performans Amacının Saptanması</b>         |   |   |  |  |
|---|---|---|--|--|
| Deprem Yer Hareketi                           | Bina Performans Seviyesi                    |   |  |  |
|   | Kullanıma Devam Performans Seviyesi 1-A (B) | Hemen Kullanım Performans Seviyesi 1-B (IO) | Can Güvenliği Performans Seviyesi 3-C (LS) | Yapısal Stabilite Performans Seviyesi 5-E (CP) |
| %50 / 50 yıl İşlevsel Deprem (SE)             | a   | b   | c  | d  |
| %20 / 50 yıl                                  | e   | f   | g  | h  |
| TGD-1<br>~%10 / 50 yıl<br>Dizayn Depremi (DE) | i   | j   | k  | l  |
| TGD-2<br>~%2 / 50 yıl<br>Maksimum Deprem (ME) | m   | n   | o  | p  |



**Şekil 2.1** Bina performans seviyeleri ile güçlendirme maliyeti arasındaki ilişki

#### 2.4.2 Diğer Performans Amaçları

Tablo 2.2’de gösterilen yapı performans amaçları ile deprem çeşitlerinin farklı kombinasyonlarda eşleştirilmeleri sonucunda çeşitli performans amaçlarının elde edilmesi mümkündür. Tablo 2.3a, Tablo 2.3b ve Tablo 2.3c’de çeşitli durumlarda kullanılabilecek performans amaçları örnek olarak verilmiştir.

**Tablo 2.3a** California’daki bazı önemli binalarda kullanılan performans amaçları

| <b>Ana Örnek</b> |                                    |                           |             |
|------------------|------------------------------------|---------------------------|-------------|
| Sismik Tehlike   | Triservices / Hayati               | California Hosp. / Hayati | VA Hospital |
|                  | Birleştirilmiş Performans Seviyesi |                           |             |
| (SE)             | 1B                                 |                           |             |
| (DE)             |                                    | 1B                        |             |
| (ME)             | 3C                                 | 5E                        | 1A          |

**Tablo 2.3b** Normal binalar için örnek performans seviyeleri

| <b>Ana Örnek</b> |                                    |                                   |                            |                       |
|------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Sismik Tehlike   | Yeni Binalar                       | Yapılan Genel Güçlendirmeler için | Yüksek Kullanım Amacı için | Minimum Dizayn Süresi |
|                  | Birleştirilmiş Performans Seviyesi |                                   |                            |                       |
| (SE)             |                                    |                                   |                            |                       |
| (DE)             | 2C                                 | 3D                                | 3C                         | 1C                    |
| (ME)             | 5E                                 |                                   | 3D                         |                       |

**Tablo 2.3c** Performans Amaçlarının Ekonomiklik Durumları

| <b>Ana Örnek</b> |                                    |                     |                     |
|------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------|
| Sismik Tehlike   | Kısa Ömürlü Yapılar                | Orta Ömürlü Yapılar | Uzun Ömürlü Yapılar |
|                  | Birleştirilmiş Performans Seviyesi |                     |                     |
| (SE)             | 3D                                 |                     |                     |
| (DE)             |                                    | 5E                  |                     |
| (ME)             |                                    |                     | 5E                  |

## 2.5 Performans Amaçlarının Kararlaştırılması

### 2.5.1 Başlangıç Performans Amacı

Performans seviyesinin, özel yapılarda yapı sahibi tarafından, yerleşim alanları içinde ise yerel yönetimler tarafından belirlenmesi gerekir. Öncelikli olarak değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi gereken yapıların performans seviyelerinin mümkün olabildiğince çabuk saptanabilmesi için bu işlemin yerel yönetimlerce yapılması daha uygundur. Sismik amaçlar; binanın durumunun önceden belirlenmesi,

değerlendirme ve güçlendirme projeleri için gerekli olan performans seviyesinin yapı sahibi ve tasarım ekibi tarafından saptanabilmesi gibi konularda yardımcı olur.

### **2.5.2 Son Performans Amacı**

Başlangıç performans amacı gerek duyulduğu takdirde bina sahibi ve ilgili mühendis tarafından değiştirilebilir, indirilebilir veya yükseltilebilir. Değerlendirme ve güçlendirme aşamasında kullanılan son performans amacı, rapor ve çizimlerde açıklanarak ifade edilmelidir.

### **3. DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK ANALİZ (PUSHOVER ANALİZİ)**

#### **3.1 Giriş**

Bu kısımda, mevcut binaların performans seviyelerinin belirlenmesi veya sismik etkiler göz önüne alınarak yapılan güçlendirme çalışmalarının yeterli seviyede olup olmadığını kontrol etmek için gerekli olan analitik işlemler açıklanmıştır, [1].

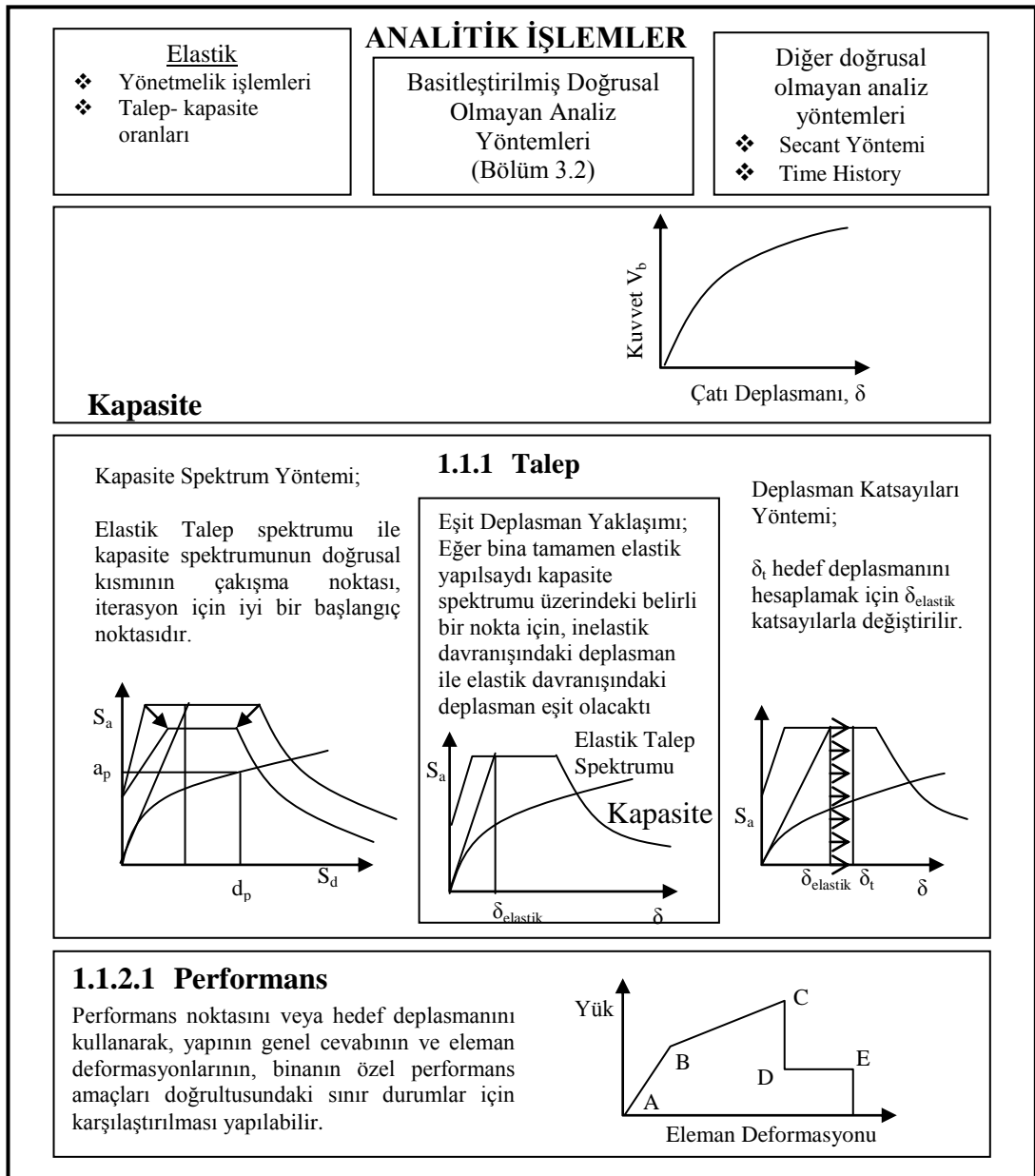
Betonarme yapılar için elastik (doğrusal) ve inelastik (doğrusal olmayan) analiz olmak üzere başlıca iki analiz yöntemi mevcuttur. Doğrusal analiz yöntemlerinde sadece malzemenin doğrusal sınırlar içindeki davranışı göz önüne alınır. Malzemenin doğrusal olmayan davranışları hesaba katılmadığı için malzemede kalan ek kapasiteden yararlanılamamaktadır. Doğrusal olmayan analiz yöntemleri genellikle Time History analizine dayanır. Fakat, Time History analizi yaygın olarak kullanılamayacak kadar karmaşık bir hesap yöntemidir. Bununla beraber kullanımı daha kolay olan basitleştirilmiş doğrusal olmayan analiz yöntemleri de mevcuttur. Bu basitleştirilmiş analiz yöntemlerinden, kapasite (Pushover) eğrisi ile indirgenmiş talep (Response) spektrumu eğrilerinin kesişim noktasını bulmak suretiyle uygulanan “Kapasite Spektrum Yöntemi” (CSM) ile doğrusal olmayan analiz işlemleri kolayca yapılabilir. Bu kısımda özellikle Kapasite Spektrum Yöntemi ile doğrusal olmayan statik analiz işlemlerinin uygulanması konusu ele alınacaktır. Deplasman Katsayıları Yöntemi, Kapasite Spektrum Yöntemi ile eşit ağırlıkta olduğu için ona da kısaca değinilecektir. Tablo 3.1’de doğrusal olmayan analiz yöntemleri özetlenmiştir.

Doğrusal analiz yöntemleri yapının elastiklik kapasitesini ve ilk akmanın nerede meydana geleceğini açık bir şekilde göstermesine rağmen mekanizma durumlarını ve akma sırasındaki kuvvet dağılımını göstermede yetersiz kalmaktadır. Buna mukabil olarak inelastik (Doğrusal olmayan) analiz yöntemleri binaların göçme anına kadar olan davranışlarının ve yıkılma durumundaki mod şekillerinin nasıl olacağını çok büyük bir yaklaşıklıkla gösterir. Tasarımda doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin

kullanılması, mühendise deprem esnasında binanın gerçek davranışı hususunda net bir fikir verir ve daha gerçekçi çözümler bulunmasına imkan sağlar.

Doğrusal olmayan bir analiz yöntemi olan Kapasite Spektrum Yöntemi, binanın toplam taban kesme kuvveti ile en üst katında meydana gelen deplasman arasındaki ilişkiyi temsil eden kapasite eğrisiyle, sismik yer hareketini temsil eden talep (Response) spektrumu eğrisinin karşılaştırılmasını grafik bir ortamda mühendise sunar. Bu yöntem, mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi için son derece faydalıdır ve bize, olası bir deprem anında binanın mevcut durumdaki davranışı ile güçlendirildikten sonraki davranışı hususunda net bir fikir verir.

**Tablo 3.1** Analitik İşlemlerin Algoritması





### 3.2 Basitleştirilmiş Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemleri

Performansa dayalı tasarım işlemlerinin tamamı talep (Karşılık) ve kapasiteye göre şekillenir. Talep, yer hareketinin bir göstergesidir. Kapasite ise, yapının sismik talebe karşılık verebilme yeteneğini ifade eder. Bu durumda performans, kapasitenin talebe karşılık verebilme durumu olarak izah edilebilir. Bunun daha açık bir ifadeyle izahı, söz konusu yapının olası bir depremin açabileceği hasarları, depremin etkilerini kendi bünyesinde söndürerek engelleyebilecek bir kapasiteye sahip olması gerektiği şeklinde yapılabilir. Bu sebepten dolayı yapının performans seviyesi 2.Bölümde anlatılan tasarım amaçları ile uyumlu olmalıdır. Binanın performans seviyesi; binanın yapılış amacı, önem derecesi, bina sahibinin isteği gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak belirlenir.

Gerek Kapasite Spektrum Yöntemi, gerekse Deplasman Katsayıları Yöntemi gibi statik itme yöntemlerini kullanarak basitleştirilmiş doğrusal olmayan analiz işlemlerini yapabilmemiz için şu üç şeye gereksinimimiz vardır: Kapasite, Talep (Karşılık Deplasmanı) ve Performans. Bu üç kavramı kısaca açıklamaya çalışalım.

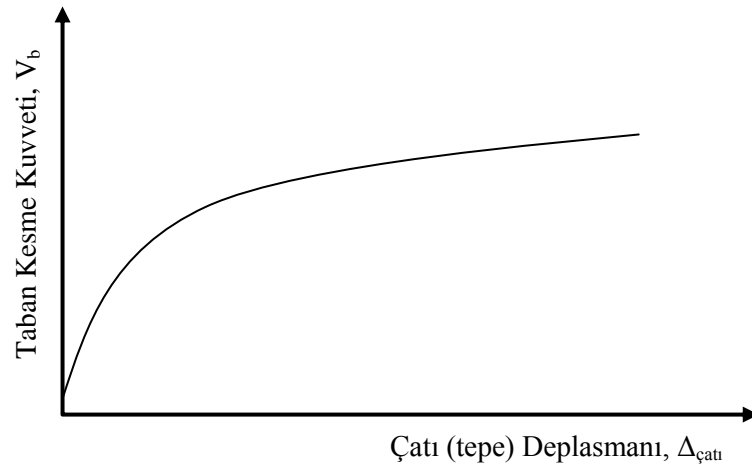
- **Kapasite:** Yapının toplam kapasitesi, taşıma gücüne ve yapı bileşenlerinin deformasyon yapabilme kapasitelerine bağlıdır. Bu ifadeden de anlaşıldığı gibi yapının genel kapasitesi, ayrı ayrı onu oluşturan elamanların kapasitelerine bağlıdır. Mevcut doğrusal yöntemlerle binanın elastiklik sınırına kadar olan deformasyon yapabilme kapasitesi bulunabilir. Ancak binanın elastiklik sınırının ötesindeki deformasyon yapabilme kapasitesinin bulunabilmesi için statik itme yöntemi gibi doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin kullanılması gerekir. Bu analiz yönteminde yapıyı teşkil eden bileşenlerin akma sınırına ulaşması için sisteme giderek artan yatay yük uygulanır. Bu işleme, yapı labil hale gelene kadar veya önceden belirlenmiş olan sınır duruma erişene kadar devam edilir. Bu konu, Bölüm 3.2.1’de ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Gelişen bilgisayar teknolojisi ve yapılan yazılımlar sayesinde, iki yada üç boyutlu sistemlerin doğrusal olmayan davranışları ile bunlara ait kapasite eğrileri kısa bir zaman diliminde doğrudan elde edilebilmektedir. Statik itme analizi sonucunda elde edilen kapasite eğrileri (Pushover eğrileri) her ne kadar doğrusal olmayan davranış hakkında

gerçekçi sonuçlar verse de bu analiz yönteminin de oldukça yaklaşık bir yöntem olduğu unutulmamalıdır.

- **Talep (Karşılık deplasmanları):** Deprem esnasında, yer hareketi zamana bağlı olarak sürekli yön değiştirir. Bu yön değiştirmeler sebebiyle, depreme maruz kalan bir binada karışık yatay deplasman durumları ortaya çıkar. Yapısal tasarım için gerekli olan parametreleri belirlemek amacıyla, her bir zaman aralığında bu yer hareketini izlemek (Time History Analizi) pek pratik olmayan bir hesap yöntemidir. Söz konusu yapı ve yer hareketi için karşılık deplasmanı, yer hareketi boyunca binada meydana gelmesi beklenen maksimum deplasmandır.
- **Performans:** Kapasite eğrisi ile talep spektrumunu belirledikten sonra bunların çakıştıkları noktayı bulmak suretiyle performans kontrolü yapılabilir. Performans kontrolü, sistemdeki yapısal ve yapısal olmayan elemanların, yapı için öngörülen performans seviyesinin kabul edilebilirlik sınırlarının ötesinde hasar görmemelerini sağlamak amacıyla yapılır.

### 3.2.1 Kapasiteyi Belirlemek İçin Adım Adım İşlemler

Yapının kapasitesi pushover eğrisi ile temsil edilir. Bir yapının kapasitesini saptamanın en iyi yolu, yapının tabanında meydana gelen kesme kuvvetleri ile çatısında (yapının en tepesinde) oluşan yatay deplasmanlar arasındaki ilişkiyi belirlemektir. Şekil 3.1’de örnek kapasite eğrisi gösterilmiştir.



**Şekil 3.1** Taban kesme kuvveti ile çatı deplasmanı arasındaki ilişki

SAP2000 ve DRAIN-2DX gibi bazı doğrusal olmayan hesap yazılımları statik itme analizini iterasyona gerek duymadan doğrudan yapabilmektedir. Bu çalışmanın kapsamı içinde yer alan ve analiz sonuçları 5.Bölümde verilmiş olan 6 katlı betonarme binanın statik itme analizi ve 6. bölümde verilmiş olan 3 katlı bir betonarme okul binasının statik itme analizi SAP2000 programı ile yapılmıştır. Bu programlara ilave olarak ETABS, SAP90, RISA gibi yazılımlar kullanılarak da kapasite eğrisi elde edilebilir. Kapasite eğrisi çizilirken, genellikle yapının birinci (asıl) doğal titreşim modu esas alınarak yapılan yüklemeler sonucunda yapıda meydana gelen taban kesme kuvveti ile oluşan yatay deplasman göz önünde tutulur. Bu durum genellikle 1. moda ait doğal titreşim periyodunun 1 sn yada daha az olduğu binalar için geçerlidir. Çünkü, bu türden binalarda daha yüksek modların yapıya etkileri oldukça küçük olduğu için bu etkiler göz ardı edilebilir. Ancak, çok katlı ve daha sünek yapılarda -bu tür yapılarda genellikle 1. moda ait doğal titreşim periyodu 1 sn'den daha fazladır- yüksek modların yapıya olan etkileri göz ardı edilemeyecek kadar büyüktür ve ilgili mühendis hesaplarda bu etkileri de dikkate almak zorundadır.

Kapasite hesabı yapılırken aşağıdaki işlem sırası takip edilmelidir.

1) Her kata ait yatay kuvvetler, birinci mod şekline uygun olaraktan kat kütlelerinin toplandığı kabul edilen kütle merkezlerine uygulanır. Yatay kuvvetlerin uygulama noktalarına ilişkin olarak beş farklı durum aşağıda örneklenmiştir.

- ❖ Yatay kuvvetin, yapının en üstüne uygulandığı tek katlı basit yapılar.
- ❖ Yatay kuvvetin, her bir kata Deprem Yönetmeliğinin öngördüğü şekilde eşdeğer statik yatay yük olarak kat ağırlıkları oranında uygulandığı yapılar.
- ❖ Yatay kuvvetlerin, yapının 1.mod şekline uygun olarak, kat kütlelerinin toplandığı kütle merkezlerine uygulandığı yapılar. Kapasite eğrisi 1.mod şekline göre yapılan yüklemeye elde edilir. Ancak bu durumun, yapının 1. moduna ait doğal titreşim periyodunun bir saniye yada daha az olduğu durumlarda geçerli sayıldığı unutulmamalıdır.
- ❖ Bu örnekteki yükleme durumu, ilk mafsallara kadar önceki örnekte bahsedilen yapılar gibidir. Fakat, bu örnekte yapıda ilk mafsallardan oluştuktan sonraki her yük artımının deforme olmuş şekle göre ayarlanması gerekir.

- ❖ Önceki iki örneğe benzer fakat daha yüksek mod şekillerinin etkilerinin de göz önünde bulundurulması gerekir. Bu işlem yüksek modlar için yapılacak statik itme analizi ile sağlanır.
- 2) Yatay ve düşey yüklerin gerekli kombinasyonlarına göre elemanlardaki kesit tesirleri hesaplanır.
- 3) Bazı eleman veya eleman gurupları için yatay yük, eleman dayanımının %10'u olacak şekilde ayarlanır. Fakat çoğu zaman 1. ve 2. madde yeterlidir.
- 4) Oluşan taban kesme kuvvetleri ve çatı deplasmanları kaydedilir. Bunlara ilave olarak eleman kuvvetleri ve dönmelerinin de kaydedilmesi yararlı olur. Zira bu değerler performans kontrolü için gereklidir.
- 5) Mafsallaşan elemanlar için, rijitlik sıfır alınarak model tekrar kontrol edilir.
- 6) Başka bir eleman (veya eleman gurubu) akmaya ulaşana (mafsallaşana) kadar yatay yük arttırılmaya devam edilir.
- 7) Taban kesme kuvvetine nazaran çatı deplasmanı oldukça sabit olsa da yatay yük arttırılmaya devam edilir.
- 8) P-Δ etkilerinin birbirlerinden çok farklı oldukları bir duruma gelindiğinde yapı elemanları veya eleman gurupları tamamıyla yıkılmaya başlıyor demektir. Bu duruma gelindiğinde yapı düşey yük taşıma kapasitesini de yitirir. Bu noktaya ulaşıldığı zaman statik itme analizine son verilir

### **3.2.2 Talep Spektrumunun Belirlenmesi İçin Kullanılan Yöntemler**

Güçlendirme yapılırken, kullanılacak performans seviyelerinin tespit edilmesi hususunda yapı kapasitesinin belirlenmesine ilave olarak, belirli bir deprem etkisinde olası maksimum deplasmanın saptanması da son derece önemli bir konudur. Yapılan bu çalışmada Kapasite Spektrum Yöntemine ağırlık verilmiştir. Çünkü, bu yöntem güçlendirme çalışmalarında büyük kolaylıklar sağlayarak, yapı için elde edilen kapasite eğrisinden maksimum düzeyde faydalanabilmemizi sağlar.

Performans seviyesini tespit etmek için gerekli olan sismik talebin belirlenmesi amacıyla çeşitli yöntemler kullanılmaktadır.

Kapasite Spektrum Yönteminde depremin talep deplasmanı, kapasite spektrumu üzerinde “Performans Noktası” diye adlandırılan bir noktada oluşur. Sözü edilen performans noktası, yapının sismik kapasitesini; diğer bir deyişle belirli bir deprem etkisi altında kalan yapının bu etkiye karşı göstereceği direnci (karşılığı) ifade eder.

Sismik talebin belirlenmesinde kullanılan diğer bir yöntem de Deplasman Katsayıları Yöntemidir. Bu yöntem, farklı tiplerdeki tek serbestlik dereceli sistemlere ait Time History analizi sonuçlarının istatistiksel analizi üzerine temellendirilmiştir.

### 3.2.3 Kapasite Spektrum Yöntemi Kullanılarak Sismik Talebin Hesaplanması

Performans noktasının yeri aşağıdaki iki temel koşulu sağlamalıdır:

- Bulunan performans noktası, yapının kapasite eğrisi üzerinde yer almalıdır.
- Söz konusu performans noktası, %5 sönümlü talep spektrumundan indirgenmiş olan spektrum eğrisi üzerinde yer almalıdır.

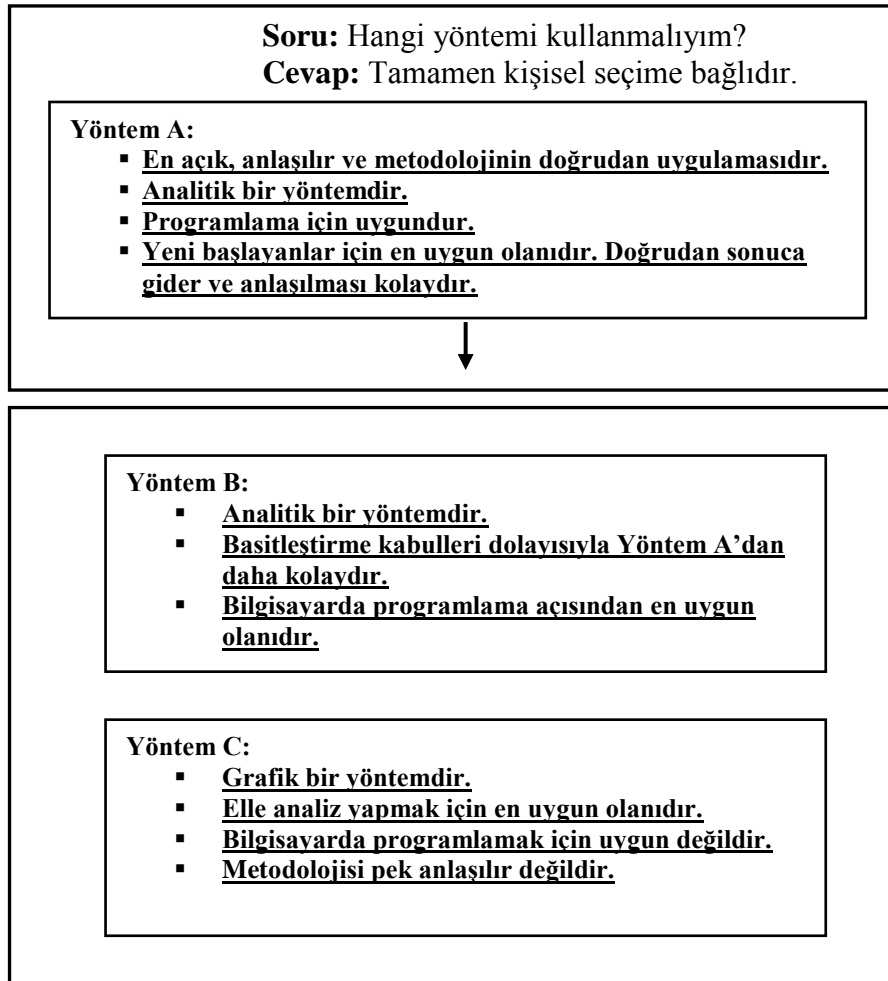
Kısacası performans noktası, bu iki koşulu aynı anda sağlayacak olan, yani kapasite eğrisi ile indirgenmiş talep spektrumunun kesiştiği noktadır. Performans noktasını belirlemek için iterasyon yapmaya ihtiyaç vardır. Aşağıda bu yaklaşım işlemini kolaylaştırmak için üç farklı yöntem ile birlikte kapasite spektrum yönteminin kavramsal ifadesi de bulunmaktadır. Asıl itibarıyla aşağıdaki üç yöntem de aynı amaca hizmet eder. Fakat, bunların matematik ifadeleri bazı farklılıklar gösterir.

- Kapasite Spektrum Yöntemin Kavramsal İfadesi: Bu kısım kapasite spektrum yönteminin teorik temellerini, gerekli formülasyonları ve bir takım hesapları içerir (Bölüm 3.2.3.1). Bu bölümde adım adım performans noktasının bulunması anlatılmaz bunun için A, B ve C yöntemlerinin incelenmesi gerekir.
- Yöntem A: Bu yöntem, kavramın en doğrudan uygulamasıdır. Bu yöntem tamamıyla iterasyona dayalıdır; fakat gerekli formülasyon yapıldığı takdirde bu işlemler bilgisayar ortamına aktarılarak kolaylıkla çözüme ulaşılabilir. Bu, grafik olmaktan ziyade analitik bir yöntemdir. Yeni başlayanlar için en ideal ve anlaşılır yöntem olup sonuca en kısa yoldan varmak mümkündür.
- Yöntem B: Kapasite eğrisinin iki doğrultuda modellenmesine imkan sunan basit bir yöntemdir. Performans noktasının gerçek yeri küçük iterasyonlar yapılarak bulunur. Yöntem B de analitik (işlemsel) bir yöntemdir; dolayısıyla

gerekli formülasyonlarla bilgisayar ortamına adapte edilmesi en uygun olanıdır. Bu yöntemin uygulanması, Yöntem A'nın uygulanmasından daha az anlaşılır olabilir.

- Yöntem C: Bu, performans noktasını bulmak için kullanılan zayıf bir grafik yöntemidir. Elle analiz yapmak için en uygun olanıdır. Buna rağmen anlaşılması zor ve bilgisayar ortamına tam olarak adapte edilmesi mümkün değildir. Tablo 3.2'de her üç yöntemde özetlenmiştir.

**Tablo 3.2** Performans hesabı için yöntem seçim tablosu<sup>1</sup>



### 3.2.3.1 Kapasite Spektrum Yönteminin Kavramsal İfadesi (Kapasite Eğrisinin, Kapasite Spektrumuna Dönüştürülmesi)

Kapasite Spektrum Yönteminin kullanılabilmesi için taban kesme kuvveti ve çatı deplasmanı cinsinden verilen kapasite eğrisinin, Spektral İvme-Spektral Deplasman

<sup>1</sup> Yöntem A'yı kullanarak adım adım performans noktasının hesaplanması Bölüm 3.2.4.2'de anlatılmıştır. Yöntem B ve C bu tezin kapsamı içinde yer almamıştır. İlgilenenler ATC-40, Bölüm 8-27'den faydalanabilirler.

formatına dönüştürülmesi gerekir. Bu dönüşüm sonucunda elde edilen eğriye “Kapasite Spektrum Eğrisi” denir ve bu eğri Spektral İvme-Spektral Deplasman (ADRS)<sup>2</sup> formatındadır. Söz konusu dönüşümü yapabilmek için gerekli denklemler :

$$\Gamma_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g}{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g} \quad (3.1)$$

$$M_1^* = \frac{(\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1})^2}{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1}^2} \quad (3.2)$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g \right]^2}{\left[ \sum_{i=1}^N w_i / g \right] \left[ \sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g \right]} \quad (3.3)$$

$$S_a = \frac{V_b}{\alpha_1 W} \quad (3.4)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{\text{çatı}}}{\Gamma_1 \phi_{N1}} \quad (3.5)$$

$\Gamma_1$  = Birinci doğal titreşim modu için Modal Katılım Katsayısı

$\alpha_1$  = Birinci doğal titreşim modu için Modal Kütle Katsayısı

$w_i/g$  = i. Kattaki toplanmış kütle

$\phi_{i1}$  = i. Kattaki modun şekli (i.Katın yanal yer değiştirmesi)

$N$  = Yapıdaki kat sayısı

$V_b$  = Taban kesme kuvveti

$W$  = Zati yük + Hareketli yük (Katsayısız)

$\Delta_{\text{çatı}}$  = Çatı deplasmanı ( $V_b$  ve  $\Delta_{\text{çatı}}$  Kapasite Eğrisini oluşturur)

$S_a$  = Spektral ivme

$\phi_{N1}$  = Yapının en üst katına ait yanal yer değiştirme

---

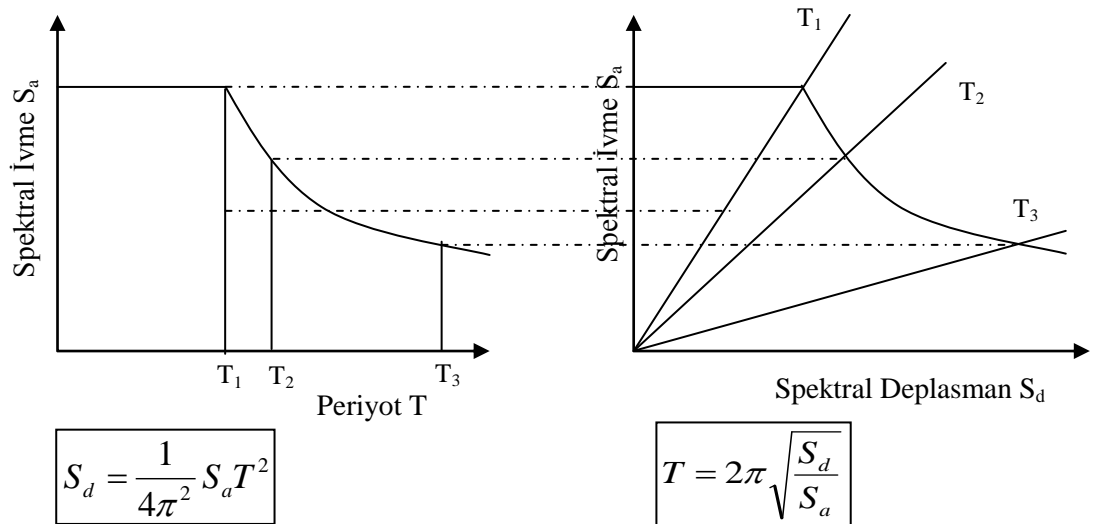
<sup>2</sup> Acceleration-Displacement Response Spectra (ADRS), Mahaney 1993

$S_d$  = Spektral deplasman (yer değiştirme) ( $S_a$  ve  $S_d$  Kapasite Spektrumunu oluşturur)

Kapasite eğrisini ADRS formatındaki kapasite spektrumuna dönüştürmek için yapılması gereken temel işlemler şunlardır: İlk olarak birinci doğal titreşim modu için modal katılım katsayısı  $\Gamma_1$  ve modal kütle katsayısı  $\alpha_1$ , Denklem (3.1) ve (3.3) kullanılarak hesaplanır. Daha sonra kapasite eğrisi üzerindeki her bir nokta Denklem (3.4) ve (3.5) yardımıyla  $S_a$  ve  $S_d$  formatına dönüştürülür.

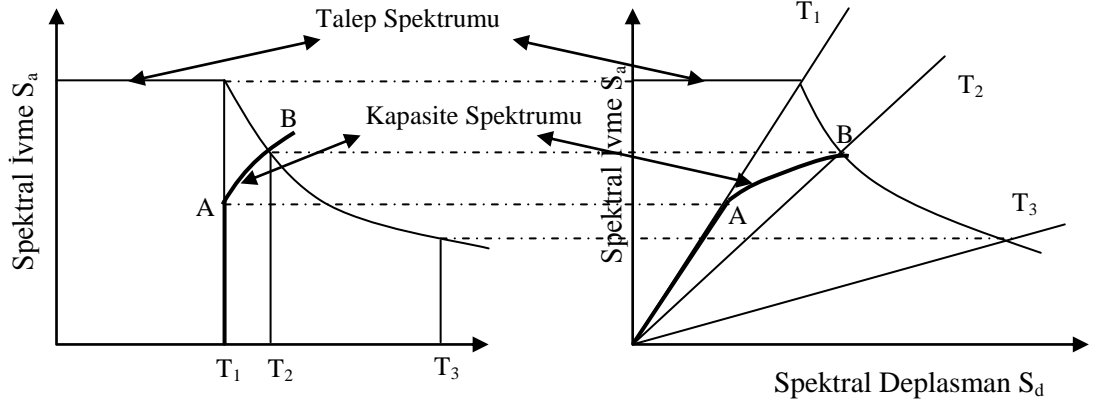
Genel olarak, mühendisler talep spektrumunun  $S_a$  ve  $T$  şekline aşınadır; bunun aksine  $S_a$  ve  $S_d$  (ADRS) formatına ise pek aşına değillerdir. Aşağıda gösterilen Şekil 3.2’de aynı spektrumun her iki formatı da gösterilmektedir. ADRS spektrumu üzerinde yer alan herhangi bir noktadaki  $T$  periyodu,  $T=2\pi(S_d/S_a)^{1/2}$  şeklinde hesaplanabilir. Benzer olarak ADRS spektrumu üzerindeki herhangi bir noktadaki  $S_d$ ,  $S_d= S_a T^2/4\pi^2$  formülü ile hesaplanabilir.

Şekil 3.3’de görüldüğü gibi kapasite spektrumu,  $T_1$  periyodunda A noktasına kadar sabittir. B noktasına ulaşıldığında ise periyot  $T_2$ ’dir. Bunun anlamı şudur: Yapının elastik davranışı kaybolduğu zaman periyodu artar. Bu periyot artışları hem geleneksel spektrum üzerinden hem de ADRS formatlı spektrum üzerinden açıkça gözlemlenebilmektedir.



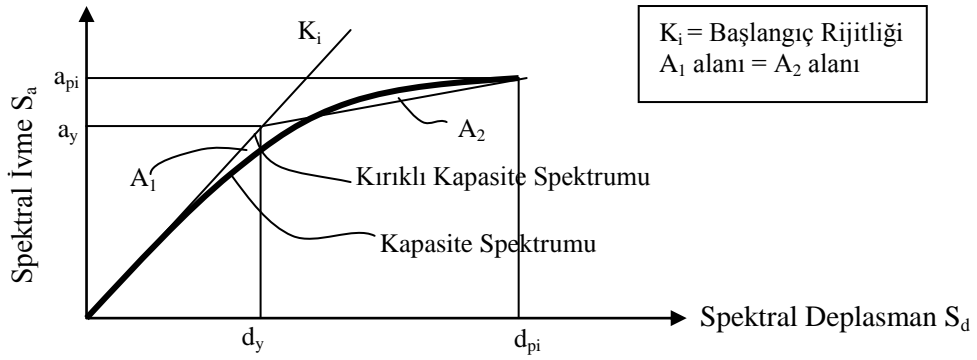
**Şekil 3.2** Geleneksel talep spektrumunun ADRS formatına dönüştürülmesi.





**Şekil 3.3** Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun üst üste çizilmiş şekli

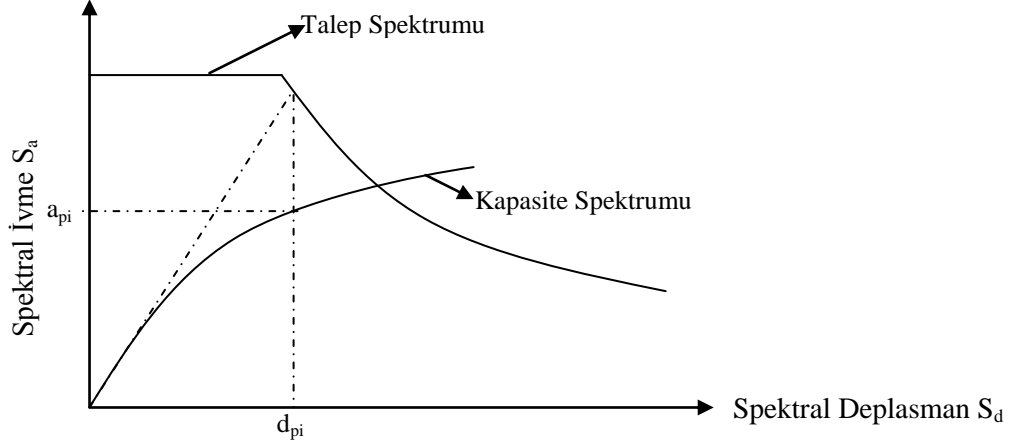
### 3.2.3.2 Kapasite Spektrumunun Kırıklı Hale Getirilmesi



**Şekil 3.4** Kapasite spektrumunun kırıklı gösterimi

Kırıklı kapasite spektrumunun oluşturulabilmesi için etkin sönümün ve buna uygun olan talep spektrumunun tahmin edilmesi gerekir. Bunun yanında  $a_{pi}$  ve  $d_{pi}$  koordinatlarının da belirlenmesi gerekir. Koordinatları  $a_{pi}$  ve  $d_{pi}$  olarak bulunan nokta başlangıç performans noktası olarak adlandırılır. Bu noktanın tahmini için öncelikle göz önüne alınan deprem bölgesine bağlı olarak %5 sönümlü talep spektrum eğrisi oluşturulur. Daha sonra oluşturulan bu eğri ile sisteme ait kapasite spektrumu eğrisi Şekil 3.5’de görüldüğü gibi üst üste çizilir. Kapasite spektrumu eğrisinin doğrusal kısmı uzatılarak talep spektrumu ile kesiştirilir. Bu kesişim noktasının kapasite spektrumu üzerindeki düşey iz düşümü bize başlangıç performans noktasını verir. Bu nokta belirlenirken, yapının bu noktada gerek elastik, gerekse plastik davranışında aynı deplasmanı yapacağı kabul edilmiştir.  $a_{pi}$  ve  $d_{pi}$  koordinatları belirlendikten sonra Şekil 3.4’de gösterildiği gibi bulunan başlangıç performans noktasından geriye doğru kapasite spektrumunun üzerinde kalan  $A_1$  alanı ile bu eğrinin altında kalan  $A_2$

alanı eşit olacak şekilde bir doğru çizilir.  $A_1$  ve  $A_2$  alanlarının eşit alınmasındaki amaç gerçek kapasite eğrisi ile yapılan kırıklı temsiliinin aynı oranda enerji sönümlemesini sağlamaktır. Yani temsili daha gerçekçi kılmak için doğru çizilirken  $A_1$  ve  $A_2$  alanları mümkün olduğunca eşitlenmeye çalışılmalıdır. Böylece kapasite spektrumunun kırıklı gösterimi elde edilmiş olur.



**Şekil 3.5** Talep spektrumu ile kapasite spektrumunun birlikte gösterimi

### 3.2.3.3 Elastik Spektrum Eğrisinin Elde Edilmesi

Deprem etkisini temsil eden elastik spektrum eğrisi,  $C_A$  ve  $C_V$  parametrelerine bağlı olarak tanımlanır. Bu parametreler, binanın bulunduğu deprem bölgesine ve bilinen bir deprem kaynağına olan uzaklığına bağlı olarak Tablo 3.6 ve Tablo 3.7’den alınır. Buna göre, Tablo 3.3’den seçilen deprem bölge katsayısı  $Z$ , deprem etki türü katsayısı  $E^3$  ve Tablo 3.5’den alınan  $N_A$  ve  $N_V$  bilinen bir deprem kaynağından olan uzaklık katsayılarının birbirleri ile çarpımını ifade eden  $ZEN$  parametresine ve Tablo 3.4’den alınan zemin sınıfına bağlı olarak  $C_A$  ve  $C_V$  parametreleri belirlenir. Bu parametrelere bağlı olarak elastik spektrum eğrisinin oluşturulması Şekil 3.6’da gösterilmiştir. Buradaki  $C_A$  katsayısı, zeminin etkili maksimum ivme katsayısını temsil eder.  $C_V$  katsayısı ise, periyodu 1 sn olan %5 sönümlü sistemin spektrum değerini verir.

**Tablo 3.3** Deprem bölge katsayısı  $Z$

| Bölge         | 1     | 2A   | 2B   | 3    | 4    |
|---------------|-------|------|------|------|------|
| $Z$ katsayısı | 0.075 | 0.15 | 0.20 | 0.30 | 0.40 |

<sup>3</sup> İşlevsel deprem için  $E=0.5$ , Tasarım depremi için  $E=1.0$ , Maksimum deprem için  $E=1.25$  (Bölge 4) ve  $E=1.5$  (Bölge 3) olarak verilmektedir. ATC-40 Tablo 4.7

**Tablo 3.4** Zemin sınıflarının tanımı

| Zemin sınıfı ve tanımı | S <sub>A</sub> | S <sub>B</sub> | S <sub>C</sub>               | S <sub>D</sub> | S <sub>E</sub> | S <sub>F</sub>                  |
|------------------------|----------------|----------------|------------------------------|----------------|----------------|---------------------------------|
|                        | Sert kaya      | Kaya           | Çok sıkı zemin, yumuşak kaya | Sert zemin     | Yumuşak zemin  | İncelenmesi gerekli yerel zemin |

**Tablo 3.5** Bilinen bir deprem kaynağına olan mesafe katsayısı  $N_A$  ve  $N_V$ 

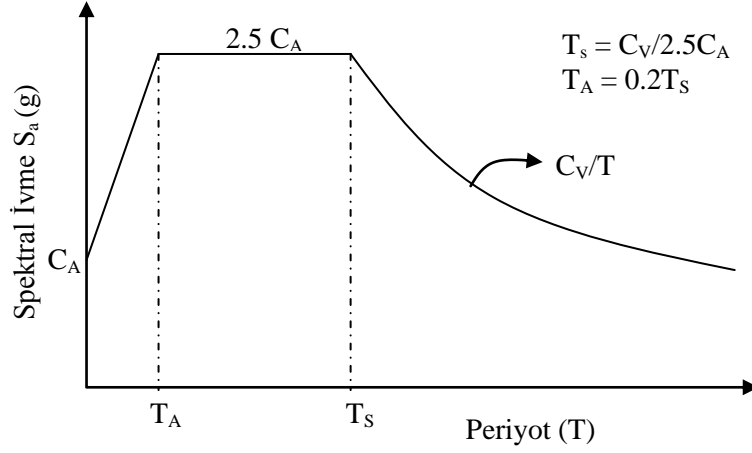
| Deprem kaynağı türü                    | Bilinen deprem kaynağına olan mesafe |       |       |       |       |       |              |       |
|--|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|
|  | $\leq 2$ km                          |       | 5 km  |       | 10 km |       | $\geq 15$ km |       |
|  | $N_A$                                | $N_V$ | $N_A$ | $N_V$ | $N_A$ | $N_V$ | $N_A$        | $N_V$ |
| A: Büyük bir deprem oluşturacak kaynak | 1.50                                 | 2.00  | 1.20  | 1.60  | 1.00  | 1.20  | 1.00         | 1.00  |
| B: Orta deprem oluşturacak kaynak      | 1.30                                 | 1.60  | 1.00  | 1.20  | 1.00  | 1.00  | 1.00         | 1.00  |
| C: Küçük bir deprem oluşturacak kaynak | 1.00                                 | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00         | 1.00  |

**Tablo 3.6** Zeminin etkili maksimum ivme katsayısı,  $C_A$ 

|                | Deprem katsayısı $ZEN$            |       |       |       |       |         |
|----------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|---------|
| Zemin Sınıfı   | =0.075                            | =0.15 | =0.20 | =0.30 | =0.40 | > 0.40  |
| S <sub>A</sub> | 0.08                              | 0.15  | 0.20  | 0.30  | 0.40  | 1.0*ZEN |
| S <sub>B</sub> | 0.08                              | 0.15  | 0.20  | 0.30  | 0.40  | 1.0*ZEN |
| S <sub>C</sub> | 0.09                              | 0.18  | 0.24  | 0.33  | 0.40  | 1.1*ZEN |
| S <sub>D</sub> | 0.12                              | 0.22  | 0.28  | 0.36  | 0.44  | 1.0*ZEN |
| S <sub>E</sub> | 0.19                              | 0.30  | 0.34  | 0.36  | 0.36  | 0.9*ZEN |
| S <sub>F</sub> | Yerel zeminin incelenmesi gerekli |       |       |       |       |         |

**Tablo 3.7** T=1 sn olan %5 sönümlü sistemin spektrum değerini veren katsayı,  $C_V$ 

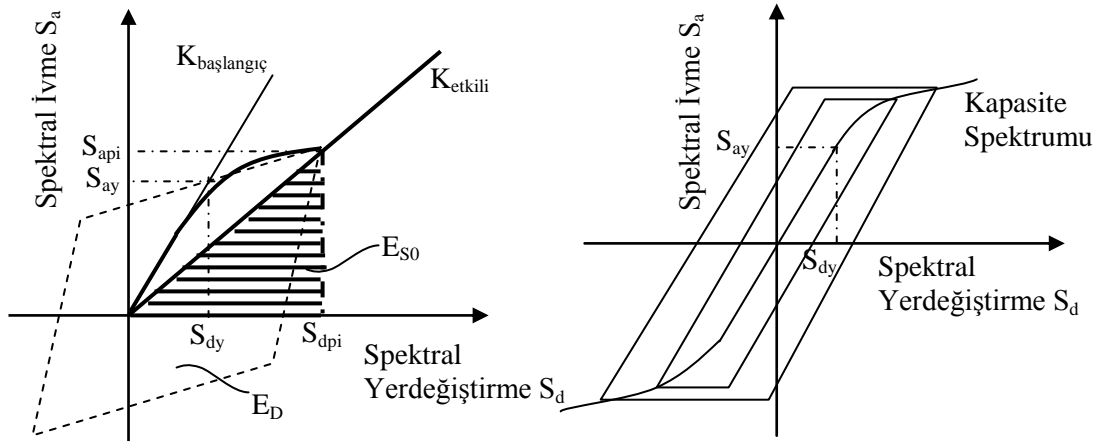
|                | Deprem katsayısı $ZEN$            |       |       |       |       |         |
|----------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|---------|
| Zemin Sınıfı   | =0.075                            | =0.15 | =0.20 | =0.30 | =0.40 | > 0.40  |
| S <sub>A</sub> | 0.08                              | 0.15  | 0.20  | 0.30  | 0.40  | 1.0*ZEN |
| S <sub>B</sub> | 0.08                              | 0.15  | 0.20  | 0.30  | 0.40  | 1.0*ZEN |
| S <sub>C</sub> | 0.13                              | 0.25  | 0.32  | 0.45  | 0.56  | 1.4*ZEN |
| S <sub>D</sub> | 0.18                              | 0.32  | 0.40  | 0.54  | 0.64  | 1.6*ZEN |
| S <sub>E</sub> | 0.26                              | 0.50  | 0.64  | 0.84  | 0.96  | 2.4*ZEN |
| S <sub>F</sub> | Yerel zeminin incelenmesi gerekli |       |       |       |       |         |



**Şekil 3.6** %5 Sönümlü elastik deprem spektrumu

### 3.2.3.4 Etkin Sönümün Tahmini ve %5 Sönümlü Talep Spektrumunun İndirgenmesi

Yönetmeliklerde verilen elastik ivme-yer değiştirme spektrum eğrisi %5'lik bir viskoz sönümü içerir. Ancak, depremin etkisiyle yapıda elastik olmayan ve çevrimsel olarak oluşan şekil değiştirmeler sonucu enerjinin tüketilmesi söz konusudur.



**Şekil 3.7** Spektral azaltma için sönüm elde edilmesi

Deprem etkisi altında, yük ile yer değiştirme arasındaki veya benzer olarkten spektral yer değiştirme-spektral ivme arasındaki bağıntı Şekil 3.7'de görüldüğü gibi elastik sınır aşıldığında bir çevrimsel değişim gösterir. Bu eğrinin içinde kalan alan çevrimsel sönüm ile orantılıdır. Bu sönüm  $\beta_0^4$  olarak yaklaşık eşdeğer viskoz sönüme dönüştürülebilir. Sonuç olarak toplam etkili sönüm oranı  $\beta_{eff}$ :

$$\beta_{eff} = 0.05 + \kappa \beta_0 \quad \beta_0 = \frac{E_D}{4\pi E_{S_0}} \quad (3.6)$$

<sup>4</sup>  $\beta_0$ 'ın hesaplanması ayrıntılı olarak ATC-40 Bölüm 8'de verilmektedir.

olarak bulunabilir. Buradaki  $E_D$  bir çevrimde sönümle tüketilen enerji olup, çevrim içinde kalan alana ve  $E_{So}$  aynı yük seviyesi altındaki maksimum şekil değiştirme enerjisine (Şekil 3.7'deki taralı alan) karşılık gelir. Geometrik bağıntılar kullanılarak;

$$\beta_{eff} = 0.05 + \kappa\beta_0 = 0.05 + 0.64\kappa \frac{S_{ay}S_{dpi} - S_{dy}S_{api}}{S_{api}S_{dpi}} \quad (3.7)$$

yazılabilir. Buradaki  $S_{dy}$  ve  $S_{ay}$  doğrusal elastik davranışın sınırındaki,  $S_{dpi}$  ve  $S_{api}$  ise hedeflenen performans seviyesindeki spektral yer değiştirme ve spektral ivme değerleridir. Bu koordinat değerleri Şekil 3.7'de de açık bir şekilde gösterilmiştir. Çevrimsel sönümün belirlenmesinde kullanılan paralel kenarın, gerçek yapıda farklı olabileceği düşünülerek bir  $\kappa$  düzeltme katsayısı öngörülmüştür. Çevrimsel davranışın tam olarak oluşmadığı, yapım kalitesi düşük yapılarda, bu katsayı daha küçük alınır. Yeni yapılarda sönüm çevrimi, dolgun bir biçimde oluşacağı için düzeltme katsayısı büyük, eski yapılarda ise enerji tüketimi daha az olacağı için söz konusu katsayı küçük olacaktır. Bu katsayıyı etkileyen diğer bir faktör de, depremin devam süresidir. Deprem süresinin uzun olması durumunda enerji tüketimi artacağı için, kısa süreli depreme nazaran düzeltme katsayısı  $\kappa$  daha büyük bir değer alacaktır. Bu katsayıya ilişkin değerler, Tablo 3.8'den seçilecek yapı davranış türüne bağlı olarak Tablo 3.9'da verilmiştir.

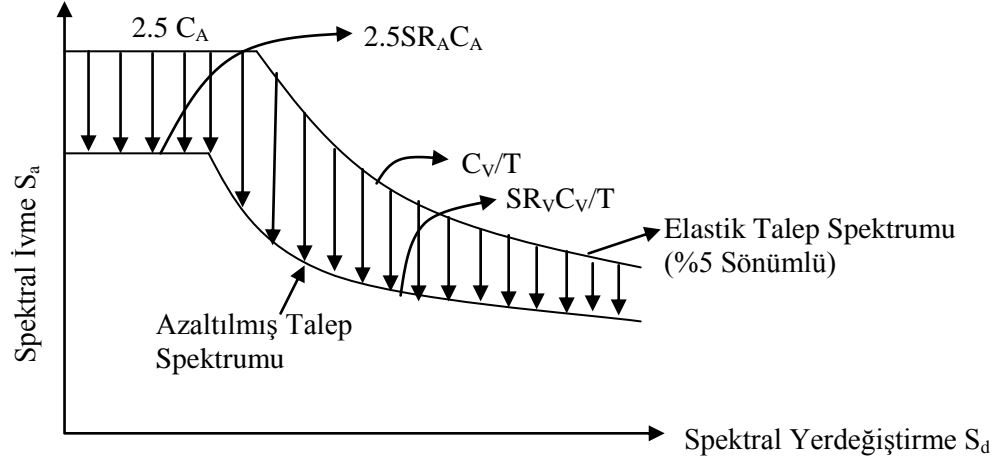
**Tablo 3.8** Yapı davranış türü

| Deprem Süresi | Genel Olarak Yeni Bina | Ortalama Mevcut Bina | Zayıf Mevcut Bina |
|---------------|------------------------|----------------------|-------------------|
| Kısa süreli   | Tip A                  | Tip B                | Tip C             |
| Uzun süreli   | Tip B                  | Tip C                | Tip C             |

**Tablo 3.9** Sönüm düzeltme katsayısı  $\kappa$

| Yapı davranış türü | Tip A | Tip B | Tip C |
|--------------------|-------|-------|-------|
| $\kappa$ katsayısı | 1.00  | 0.67  | 0.33  |

Doğrusal olmayan davranışın göz önüne alınması için, bu eşdeğer sönüme bağlı olarak talep spektrumunda  $SR_A$  ve  $SR_V$  katsayıları ile azaltma yapılır. Şekil 3.8'de bu katsayılarla bağlı olarak %5 sönümlü talep spektrumunun indirgenmesi gösterilmiştir.



**Şekil 3.8** %5 Sönümlü talep spektrumunun indirgenmesi

$SR_A$  ve  $SR_V$  katsayıları yapıda deprem etkisine bağlı olarak oluşacak sönüme ve yapı davranış türüne göre Tablo 3.10’da verilmiştir.

**Tablo 3.10** Spektral azaltma katsayıları  $SR_A$  ve  $SR_V$

|             | Yapı Davranış Türü A |        |        | Yapı Davranış Türü B |        |        | Yapı Davranış Türü C |        |        |
|-------------|----------------------|--------|--------|----------------------|--------|--------|----------------------|--------|--------|
| $\beta_0$   | $\beta_{eff}$        | $SR_A$ | $SR_V$ | $\beta_{eff}$        | $SR_A$ | $SR_V$ | $\beta_{eff}$        | $SR_A$ | $SR_V$ |
| 0.00        | 0.05                 | 1.00   | 1.00   | 0.05                 | 1.00   | 1.00   | 0.05                 | 1.00   | 1.00   |
| 0.05        | 0.10                 | 0.78   | 0.83   | 0.08                 | 0.83   | 0.87   | 0.07                 | 0.91   | 0.93   |
| 0.15        | 0.20                 | 0.55   | 0.66   | 0.15                 | 0.64   | 0.73   | 0.10                 | 0.78   | 0.83   |
| 0.25        | 0.28                 | 0.44   | 0.57   | 0.22                 | 0.53   | 0.63   | 0.13                 | 0.69   | 0.76   |
| 0.35        | 0.35                 | 0.38   | 0.52   | 0.26                 | 0.47   | 0.59   | 0.17                 | 0.61   | 0.70   |
| $\geq 0.45$ | 0.40                 | 0.33   | 0.50   | 0.29                 | 0.44   | 0.56   | 0.20                 | 0.56   | 0.67   |

Tablo 3.10’da da görüldüğü gibi yapılan azaltma; sönüm oranıyla ve yapının yeni olması ile artmaktadır.  $SR_A$  ve  $SR_V$  azaltma katsayıları denklem (3.8) ve (3.9) yardımıyla da hesaplanabilir. Ancak, bulunan değerler Tablo 3.11’de verilen minimum değerlerden daha küçük olmamalıdır.

$$SR_A = \frac{1}{2.12} [3.21 - 0.68 \ln(100 \beta_{eff})] \quad (3.8)$$

$$SR_V = \frac{1}{1.65} [2.31 - 0.41 \ln(100 \beta_{eff})] \quad (3.9)$$

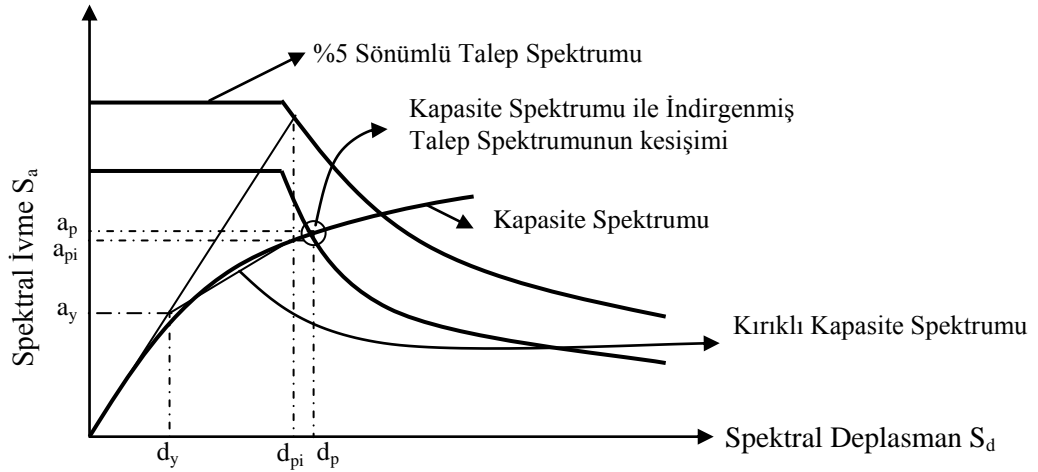
**Tablo 3.11** Spektral azaltma katsayıları  $SR_A$  ve  $SR_V$  'nin minimum değerleri

|        | Yapı Davranış Türü A | Yapı Davranış Türü B | Yapı Davranış Türü C |
|--------|----------------------|----------------------|----------------------|
| $SR_A$ | 0.33                 | 0.44                 | 0.56                 |
| $SR_V$ | 0.50                 | 0.56                 | 0.67                 |

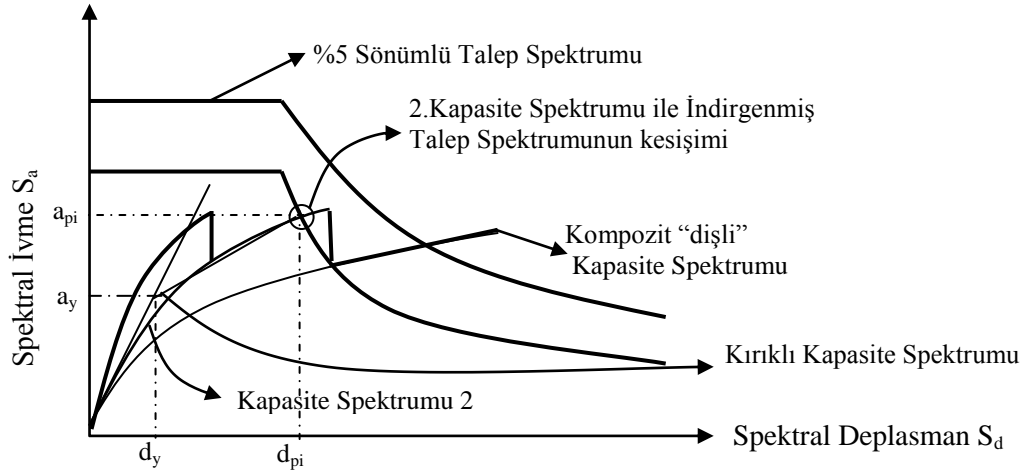
### 3.2.4 Performans Noktasının Hesaplanması

#### 3.2.4.1 Kapasite ve Talep Spektrumlarının Kesişimi

Kapasite spektrumu ile indirgenmiş talep spektrumunun kesişim noktasının yatay koordinatı olan  $d_p$  spektral deplasmanı, başlangıç performans noktasının yatay koordinatı olan  $d_{pi}$  spektral deplasmanından  $\pm\%5$  kadar farklı ise ( $0.95d_{pi} \leq d_p \leq 1.05d_{pi}$ ) bulunan performans noktası gerçek performans noktası olarak kabul edilebilir. Eğer kapasite spektrumu ile talep spektrumunun kesişim noktası, kabul edilebilir toleranslar içinde değilse, yeni bir  $a_{pi}$ ,  $d_{pi}$  noktası seçilir ve iterasyona devam edilir. Şayet bir önceki iterasyonda bulunan performans noktası, yeni başlangıç performans noktası olarak alınırsa yapılan iterasyonun gerçek performans noktasına yaklaşımı daha hızlı olur. Söz konusu noktalar, Şekil 3.9'da gösterilmiştir.

**Şekil 3.9** Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun kabul edilebilir toleranslar içindeki kesişim noktası

Eğer kapasite spektrum eğrisi testere dişi şeklinde ise, birleşik kapasite spektrumu farklı birkaç tane kapasite spektrumundan oluşturulmalı ve performans noktası bulunurken özel bir dikkat sarf edilmelidir. Analizin kabul edilebilir olması için iki doğrultuda gösterilen spektrum ile kompozit kapasite spektrumunun kesişme noktalarının aynı olması gerekir. Şekil 3.10'da dişli kapasite spektrumunun oluşumu gösteriliyor.

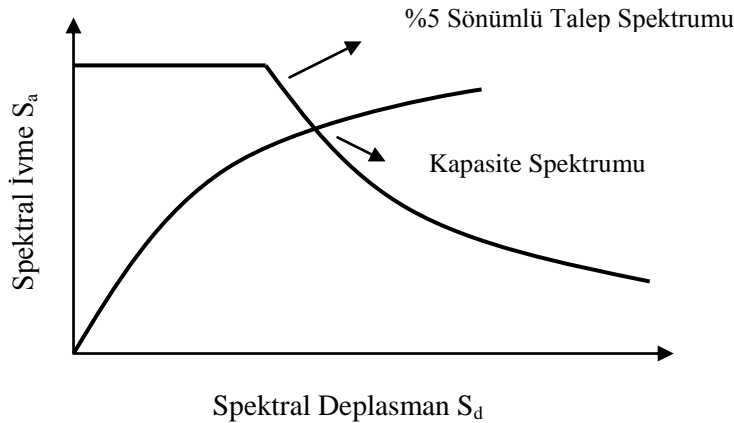


**Şekil 3.10** Talep ve kompozit (dişli) kapasite spektrumlarının kesişim noktası

### 3.2.4.2 Yöntem A'yı Kullanarak Performans Noktasının Hesaplanması

Bu yöntemi kullanarak performans noktasını bulmak için, yapılan iterasyonlar elle veya bilgisayarla yapılabilir. Bu yöntem, daha önce bahsedilen prensiplerin en sade şekilde uygulanmasıdır. İşlemler aşağıdaki sırayla yapılır:

- 1) Bölüm 3.2.3.3’de anlatılan teknikler kullanılarak %5 sönümlü elastik spektrum eğrisi çizilir.
- 2) Bölüm 3.2.3.1’de anlatıldığı gibi Denklem (3.1), (3.2), (3.3), (3.4) ve (3.5)’den faydalanan kapasite eğrisi kapasite spektrumuna dönüştürülür. Kapasite spektrumu ile %5 sönümlü talep spektrumu Şekil 3.11’deki gibi aynı grafikte gösterilir.

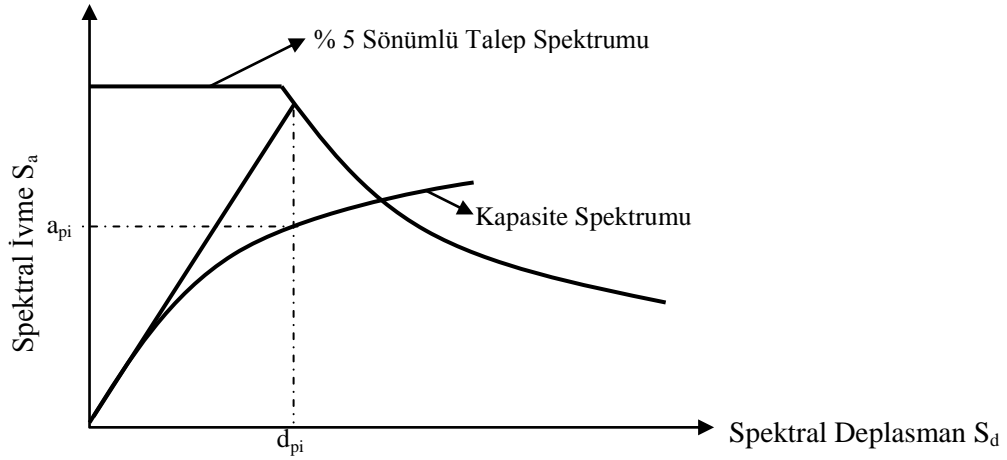


**Şekil 3.11** Kapasite spektrumu ile talep spektrumunun kesiştirilmesi

- 3) Şekil 3.12’de gösterildiği gibi kapasite spektrumunun doğrusal olan kısmı uzatılarak talep spektrumu ile kesiştirilir ve bu kesişim noktasının kapasite spektrumu üzerindeki düşey iz düşümü bulunur (Yani eşit deplasman yaklaşımı)

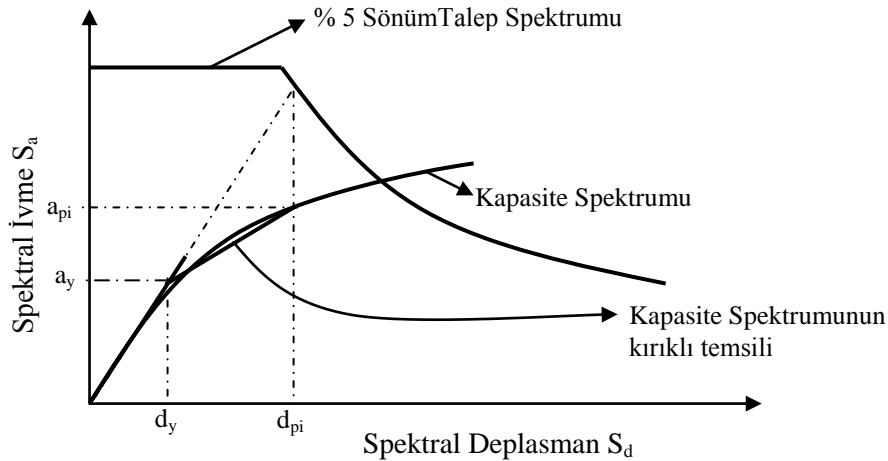


uygulanır). Bulunan bu nokta, koordinatları  $a_{pi}$  ve  $d_{pi}$  olan başlangıç performans noktasıdır.



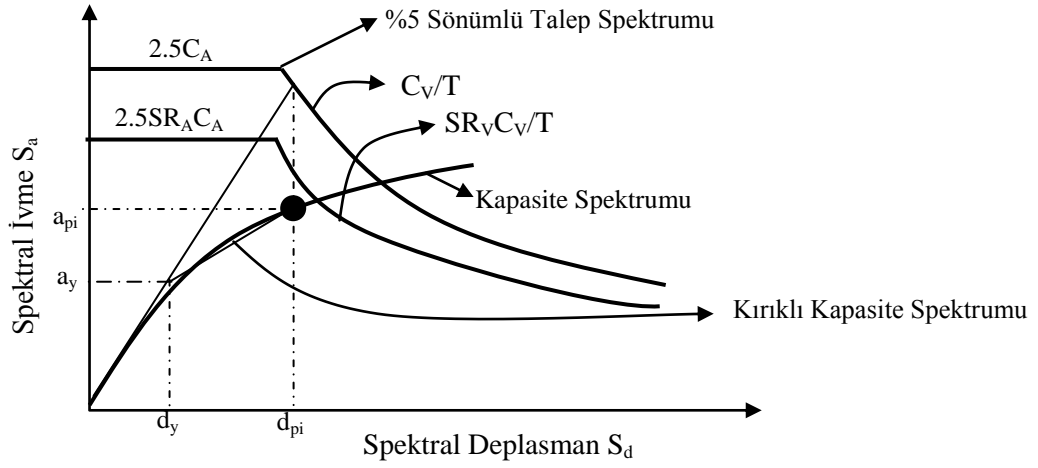
**Şekil 3.12** Başlangıç performans noktasının bulunması

- 4) Bölüm 3.2.3.2’de anlatıldığı gibi kapasite spektrumu Şekil 3.13’deki gibi kırıklı hale getirilir.

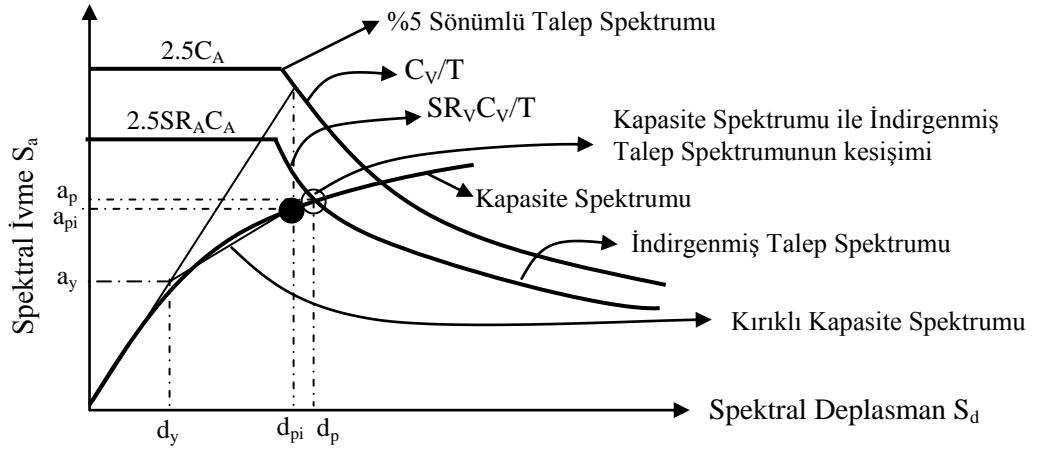


**Şekil 3.13** Kapasite spektrumunun kırıklı hale dönüştürülmesi

- 5) Bölüm 3.2.3.4’de anlatıldığı gibi Denklem (3.8) ve (3.9)’u kullanarak  $SR_A$  ve  $SR_V$  katsayıları hesaplanır. Bu katsayılardan yararlanarak Şekil 3.14’de olduğu gibi %5 sönümlü talep spektrumu, bulunan etkin sönüme sahip olan talep spektrumuna indirgenir.
- 6) Şekil 3.15’de gösterildiği gibi kapasite spektrumu ile indirgenmiş talep spektrumunun kesişim noktası belirlenir. Bulunan kesişim noktasının yatay koordinatı olan  $d_p$  spektral deplasman değeri,  $d_{pi}$  spektral deplasman değerinden Bölüm 3.2.4.1’de açıklandığı gibi  $\pm$  %5 kadar yada daha az farklı ise bulunan bu nokta gerçek performans noktası olarak kabul edilebilir.



**Şekil 3.14** İndirgenmiş talep spektrumunun bulunması



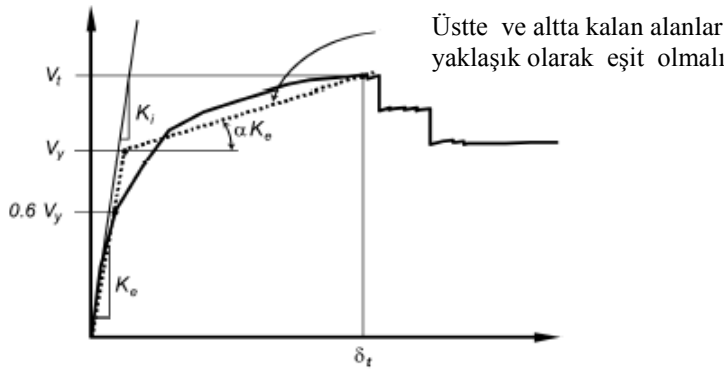
**Şekil 3.15** İndirgenmiş talep spektrumu ile kapasite spektrumunun kesiştirilmesi.

- 7-) Eğer bulunan  $a_p$ ,  $d_p$  noktası kabul edilebilir toleranslar içindeyse iterasyona son verilir ve bu nokta performans noktası olarak kabul edilebilir. Aksi taktirde 4.Adıma geri dönülerek, koordinatları  $a_p$ ,  $d_p$  olarak bulunan nokta, başlangıç performans noktası kabul edilerek diğer adımlar tekrarlanır.
- 8-) Eğer  $a_p$ ,  $d_p$  noktası kabul edilebilir sınırlar içerisinde ise  $a_{pi}$ ,  $d_{pi}$  başlangıç performans noktası,  $a_p$ ,  $d_p$  gerçek performans noktası,  $d_p$  ise öngörülen muhtemel deprem için maksimum yapısal deplasman olarak adlandırılır.

#### 4. YERDEĞİŞTİRME KATSAYISI YÖNTEMİ (Displacement Coefficient Method, FEMA356)

Yerdeğiştirme katsayısı yöntemi, kapasite spektrumu yöntemine benzer olarak, kapasite ve istemin birbirine bağlı olduğu esasına dayanmaktadır. Ancak bu yöntemde, yerdeğiştirme istemi grafik olarak değil, sayısal bir şekilde belirlenmektedir. Bu durumda, kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesine de gerek olmamaktadır.

Deplasman katsayısı yönteminde önce  $V_t$  taban kesme kuvveti ile  $\delta$  maks tepe noktası yerdeğiştirmesi arasındaki ilişkiyi belirleyen kapasite eğrisi elde edilir. Kapasite eğrisinin çizilmesinde, yapının birinci doğal periyoduna ve etkin modlara bağlı olarak uygun bir yatay yük dağılımı seçilir. Sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan yatay yükler altında, lineer olmayan teoriye göre hesap yapılarak kapasite eğrisi elde edilir. Daha sonra bu eğri, birincisinin eğimi elastik rijitliği ( $K_e$ ), ikincisinin eğimi ise elastoplastik rijitliği ( $K_s$ ) temsil eden iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilir. İdealleştirme yapılırken, gerçek ve idealleştirilmiş kapasite diagramlarının altında kalan alanların eşit olması ve  $K_e$  eğimli doğrunun kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinatının,  $K_e$  ve  $K_s$  eğimli doğruların kesiştiği noktanın ordinatının 0,60 katı olması koşulları esas alınır. Ancak iki doğrunun kesim noktası başlangıçta bilinmediğinden, bir deneme - yanılma yöntemi uygulanması gerekir.



Şekil 4.1 İki Doğru Parçası İle İdealleştirilen Kapasite Eğrisi

Bu şekilde idealleştirilen kapasite eğrisi için, sistemin  $T_e$  etkin doğal periyodu, hesap yapılan doğrultudaki elastik doğal periyodu göstermek üzere

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (4-1)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Yapı sisteminin etkin doğal periyodu bulunduktan sonra, hedef yerdeğiştirme

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (4-2)$$

formülü ile elde edilir. Bu formüldeki katsayı ve büyüklükler aşağıda tanımlanmıştır.

$C_0$  : Çok serbestlik dereceli sistemin tepe noktasının yatay yerdeğiştirmesi ile eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral yerdeğiştirmesi arasındaki ilişkiyi oluşturan modal katılım katsayısı

$$C_0 = \Gamma_1 * \Phi_{\text{çatı},1} \quad (4-3)$$

$C_1$  : Lineer elastik yerdeğiştirmeyi, beklenen maksimum inelastik yerdeğiştirmeye dönüştüren düzeltme katsayısı.

$C_1 = 1$   $T_e > T_s$  için

$$C_1 = [1, 0 + (R-1) * T_s / T_e] / R \quad T_e < T_s \text{ için} \quad (4-4)$$

$T_e$  : Dikkate alınan yön için efektif periyot

$T_s$  : Sabit ivme bölgesinden sabit hız bölgesine geçme noktasındaki response spektrum karakteristik periyodu

$R$  : Elastik talebin akma taban kesme kuvvetine oranı

$$R = (S_a/g) * C_m / (V_y/W) \quad (4-5)$$

W : Efektif yapı ağırlığı

$C_2$  : Histerisis enerji şeklinin etkisini hesaba katan düzeltme katsayısı

$C_3$  : İkinci mertebe etkileri nedeniyle artan yerdeğiştirmelerin etkisini göz önüne alan düzeltme katsayısı

$$C_3 = 1 + [|\alpha| * (R-1)^{3/2}] / T_e \quad (4-6)$$

$$\alpha = K_s / K_e \quad (4-7)$$

$S_a$  : İncelenen yapının etkin doğal periyoduna ve sönüm oranına bağlı olarak belirlenen ve g yerçekimi ivmesini de içeren spektral ivmedir.

## 5. ALTI KATLI MEVCUT BİR BETONARME BİNANIN DEPREM GÜVENLİĞİNİN BELİRLENMESİ

### 5.1 Giriş

Bu bölümde, “Statik İtme Yöntemi (Pushover)” kullanılarak 1975 Deprem Yönetmeliğine göre inşa edilmiş olan 6 katlı betonarme bir yapının deprem güvenliğinin tahkiki 3 değişik yöntemle göre ayrı ayrı yapılmıştır. Yapının deprem güvenliğinin tahkiki için SAP2000 bilgisayar programı kullanılmıştır. Bu bölümde, yapılan bütün hesaplamalar önceki bölümlerde anlatılan esaslara dayanılarak yapılmıştır.

Bu bölümdeki hesaplamaların tamamı aşağıda verilen bilgiler esas alınarak yapılmıştır.

- Dış duvar kalınlığı =19 cm
- Dış duvar malzemesi =Delikli tuğla (20/20/19) cm
- İç duvar kalınlığı =9 cm
- İç duvar malzemesi =Delikli tuğla (20/20/9) cm
- Kat sayısı =Zemin + 5 Normal kat
- Kat yüksekliği (h) =2,5m(zemin kat)-2,8m (diğer katlar)
- Deprem bölgesi =1. Bölge, Deprem bölge katsayısı,  $Z=0.40^1$
- Binanın bilinen bir deprem kaynağına olan uzaklığı ~10 km
- Hesaplarda göz önüne alınacak deprem türü: Tasarım Depremi
- Deprem etki türü katsayısı  $E^2=1$  (Tasarım Depremi için)
- Etkin yer ivmesi katsayısı:  $A_0=0.40$
- Yerel zemin sınıfı = $Z_3$  (D Grubu zeminler: Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları, gevşek kum, yumuşak kil ve siltli kil)

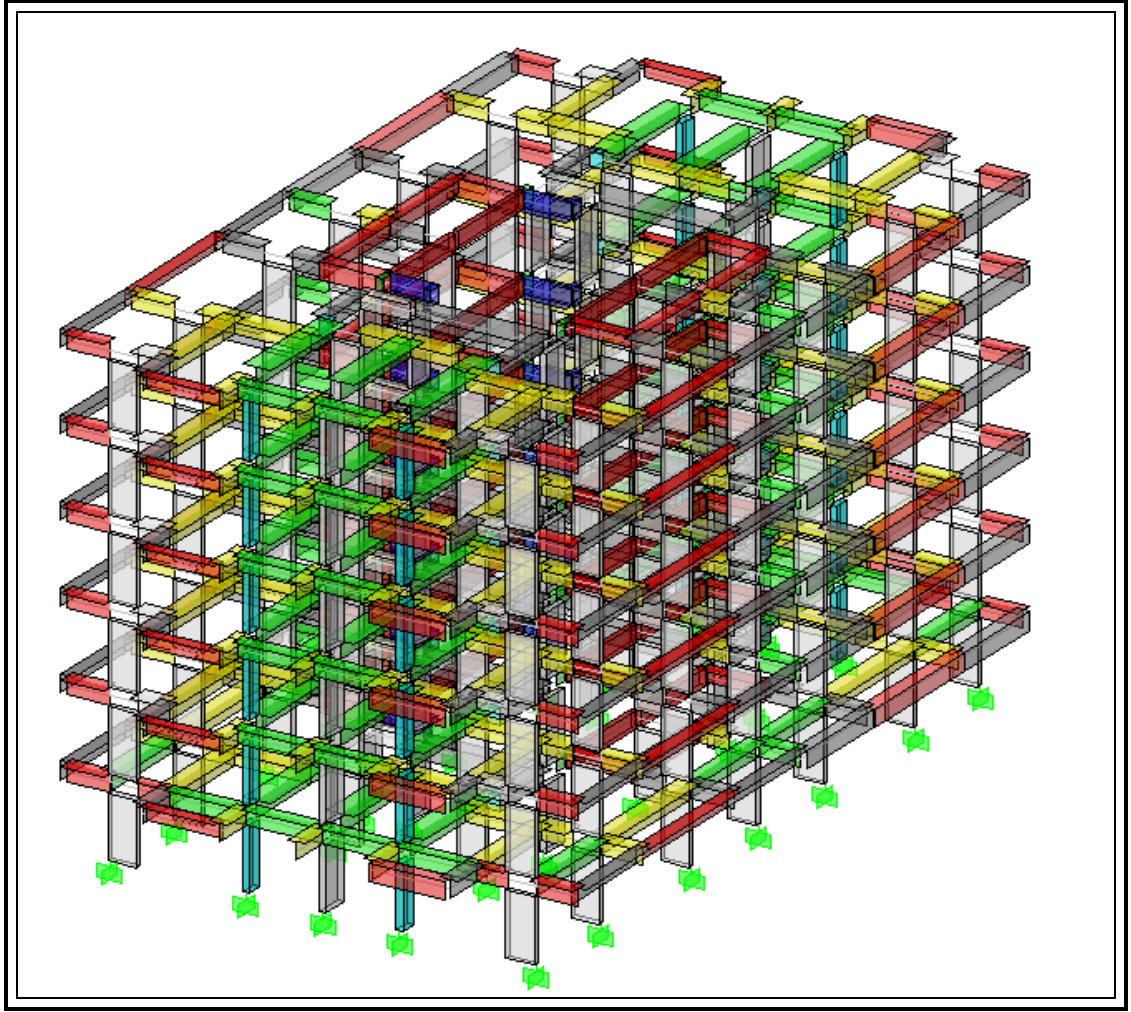
<sup>1</sup> Bu katsayı Tablo 3.3’den alınmıştır.

<sup>2</sup> İşlevsel deprem için  $E=0.5$ , Tasarım depremi için  $E=1.0$ , Maksimum deprem için  $E=1.25$  (Bölge 4) ve  $E=1.5$  (Bölge 3) olarak verilmektedir. ATC-40 Tablo 4.7

- Zeminin spektrum karakteristik periyotları:  $T_a=0.15$ ,  $T_b=0.60$  sn
- Bina önem katsayısı  $=1.0$
- Merdiven türü = Ara sahanlıklı çift kollu merdiven
- Döşeme türü = Plak döşeme
- Döşeme kaplama malzemesi= Fayans, karo mozaik
- Beton sınıfı =BS14
- $E_c=3250\sqrt{14+14000}=26150$  MPa
- Betonun birim kısalması  $=\epsilon_{cu}=0.003$
- Çelik sınıfı =BÇI  $f_{yk}=220$  MPa
- Çeliğin birim uzaması  $\epsilon_{su}=\%5$
- Yapı davranış tipi<sup>3</sup> = Tip C
- Hareketli yük katsayısı  $q=0.30$
- Plastik mafsallık boyu:  $l_p=0.5h$  kabul edildi
- Plastik mafsalların sadece kolon kiriş birleşimlerinde olduğu kabul edilmiştir.
- Moment-eğrilik ilişkisi statik itme yöntemi uygulamasında SAP2000 programına elastoplastik olarak girilmiş akmadan sonra momentteki küçük artışlar ihmal edilmiştir.
- Programa kirişler için sadece akma momentleri girilmiş akma dönmeleri programa hesaplattırılmıştır. Program akma momenti değerine geldiğinde o andaki akma dönmesini kayıt etmekte sadece süneklik katsayılarına ihtiyaç duymaktadır. (Calculate yield rotation seçeneği kullanıldı.)
- Kolonlar için ise akma yüzeyleri girildi. Akma dönmesi programa hesaplattırıldı. (Calculate yield rotation seçeneği kullanıldı.)

---

<sup>3</sup> Yapı davranış tipi Tablo 3.8'den alınmıştır.

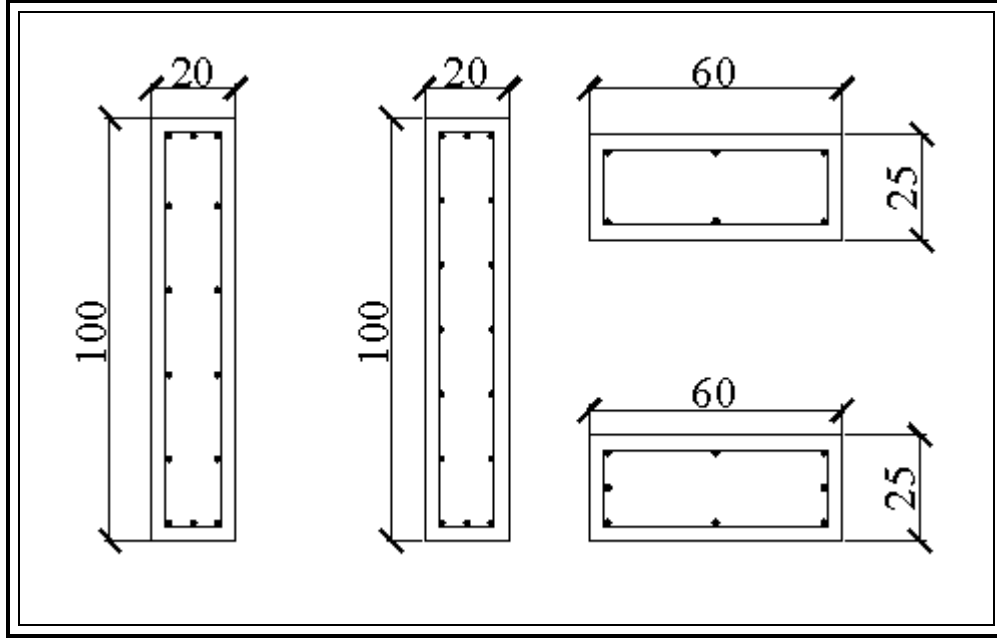


**Şekil 5.1** Yapıya Ait Üç Boyutlu Model

## **5.2 Yapı Elemanlarına Ait Birim Ağırlıklar ve Kesit Özellikleri**

Mevcut betonarme yapıda, kesit özellikleri farklı beş tip kolon ve yedi tip kiriş mevcuttur. Aşağıda kirişlere ait donatı adetleri , akma momentleri ve kolonlara ait donatı miktarları verilmiştir. Kolonlara ait akma yüzeyleri Ek-A'da gösterilmiştir. Kolonların akma yüzeyleri kolon şekillerinin simetrik olması nedeni ile sadece 0 ve 90 derece için çıkarılmıştır. Kolonlar kesit boyutları olarak kattan kata değişme göstermemektedir. Ancak donatılarda 60/25 kesite sahip kolon için her iki katta bir değişmekte, 100/20 kesite sahip kolon için ise sadece birinci normal kat tavanında değişme göstermektedir.





**Şekil 5.2** Tipik kolon kesitleri ve donatı yerleşimi

**Tablo 5.1** Kolon donatıları

| Kat No:      | Kolon Kesiti |       |
|--------------|--------------|-------|
|              | 100/20       | 60/25 |
| Zemin Kat    | 6Φ16+Φ14/15  | 8Φ16  |
| 1.Normal Kat | 6Φ16+Φ14/15  | 8Φ16  |
| 2.Normal Kat | 6Φ14+Φ12/20  | 8Φ14  |
| 3.Normal Kat | 6Φ14+Φ12/20  | 8Φ14  |
| 4.Normal Kat | 6Φ14+Φ12/20  | 6Φ14  |
| 5.Normal Kat | 6Φ14+Φ12/20  | 6Φ14  |

**Tablo 5.2** Kiriş Donatıları ve Akma Momentleri

| Kiriş No:<br>Kiriş boyutu(cm):            | Kiriş tipi: | Üst donatı: | Alt donatı: | My negatif:<br>(kNm) | My pozitif:<br>(kNm) |
|---|-------------|-------------|-------------|----------------------|----------------------|
| K02-K03-K07-K08<br>K20-K21-K22<br>(60/20) | Tip 1       | 2Φ12+2Φ14   | 2Φ14        | 60.63                | 35.7                 |
| K01 (60/20)                               | Tip 2       | 3Φ12        | 2Φ14        | 39.2                 | 35.7                 |
| K13-K14 (60/20)                           | Tip 3       | 2Φ14        | 2Φ12        | 26.5                 | 35.5                 |
| K10-K12 (60/20)                           | Tip 4       | 2Φ12+2Φ16   | 2Φ16        | 71                   | 46.5                 |
| K16 (60/20)                               | Tip 5       | 5Φ16        | 2Φ14        | 111                  | 35.9                 |
| K18 (60/20)                               | Tip 6       | 2Φ12+2Φ16   | 2Φ12        | 70.3                 | 26.55                |
| K24 (60/20)                               | Tip 7       | 2Φ14+2Φ16   | 2Φ14        | 78                   | 36                   |
| K26 (60/20)                               | Tip 8       | 2Φ12        | 3Φ16        | 26.42                | 68                   |

Kalıp planları EK-A'da Şekil A-1 ve Şekil A-2'de yer alan yapıya ait bütün elemanların, birim ağırlıkları ve boyutları tablolar halinde EK-A' da verilmiştir. Analizlerde kullanılan bütün yükler bu birim ağırlıklar ve boyutlar esas alınarak hesaplanmıştır.

### 5.3 Yapıya Ait Modal Analiz Sonuçları

Yapı elemanlarının EK-A'da verilen birim ağırlıklarına ve boyutlarına istinaden hesaplanan yükler kullanılarak Denklem (5.1) yardımıyla kat ağırlıkları aşağıdaki gibi hesaplanmış ve Tablo 5.3'de verilmiştir. Bu hesaplamada kullanılan  $g$  ve  $q$  yüklerinin çarpanı 1.0 olarak alınmıştır.

$$w_i = g_i + n \cdot q_i \quad (5.1)$$

$w_i$ ; i. Katın ağırlığı

$g_i$ ; i. Katın sabit yüklerinden oluşan ağırlığı

$q_i$ ; i. Katın hareketli yüklerinden oluşan ağırlığı

$n$ ; Hareketli yük katılım katsayısı (Konutlar ve iş yerleri için  $n=0.30$ 'dur.)

**Tablo 5.3** Kat ağırlıkları

| <b>Kat Seviyesi:</b> | <b>Kat Ağırlığı<br/><math>w_i</math> (kN)</b> |
|----------------------|---|
| Zemin Kat            | 4916,6  |
| 1.Normal Kat         | 4641,712                                      |
| 2.Normal Kat         | 4641,712                                      |
| 3.Normal Kat         | 4641,712                                      |
| 4.Normal Kat         | 4641,712                                      |
| 5.Normal Kat         | 3569,27                                       |

Yapıdaki döşemelerin hepsinin plak döşeme olması ve bu döşemelerin kalınlıklarının farklı olması nedeni ile her döşemenin kütleli atalet momenti ayrı ayrı hesaplanmış ve buna döşeme kütlesi ile bu kütlenin ağırlık merkezine olan mesafesinin çarpımı eklenmiştir. Denklem (5.2)'de bu yapılan işe ait formülasyon görülmektedir. Her döşemeden gelen kütleli atalet momentleri toplanarak yapının ilgili katına ait kütleli atalet momenti bulunmuştur. Bulunan kat ağırlıklarını  $g$  yer çekimi ivmesine bölmek suretiyle hesaplanan kat kütleleri ve katlara ait kütle atalet momentleri Tablo 5.4'de verilmiştir.

$$I_{i,kütle} = M_i * (a^2 + b^2) / 12 + M_i * D_i^2 \quad (5.2)$$

$I_{i,kütle}$ ; i. Döşemeye ait kütle atalet momenti

$M_i$ ; i. döşemeye ait kütle

$a$  ; Döşemenin global X eksenine doğrultusundaki uzunluğu

$b$  ; Döşemenin global Y eksenine doğrultusundaki uzunluğu

$D_i$ ; Döşeme ağırlık merkezinin kat ağırlık merkezine uzaklığı

**Tablo 5.4** Katlara ait kütleler ve kütle atalet momentleri

| 1.1.1 Kat No | Kat kütleleri<br>$M_i$ | Kat Kütle Atalet<br>Momentleri<br>$I_{i,kütle}$ |
|--------------|------------------------|---|
| Zemin Kat    | 501,183                | 45839,774                                       |
| 1.Normal Kat | 473,1612               | 42045,706                                       |
| 2.Normal Kat | 473,1612               | 42045,706                                       |
| 3.Normal Kat | 473,1612               | 42045,706                                       |
| 4.Normal Kat | 473,1612               | 42045,706                                       |
| 5.Normal Kat | 363,8398               | 32331,276                                       |

EK-A'da yapı elemanlarına ait birim ağırlıkları ve kalıp planları verilen yapı, SAP2000 analiz programında modellenmiş ve yapının modal analizi Tablo 5.4'de verilen kütle ve kütle atalet momentlerine esasen yaptırılmıştır. Bu analiz sonucunda elde edilen, yapıya ait doğal titreşim periyotları  $T_X, T_Y$  ile global X ve Y yönlerindeki modal kat ötelenmeleri  $\Phi_{Xi}$  ve  $\Phi_{Yi}$  Tablo 5.5'de verilmiştir.

**Tablo 5.5** Yapıya ait modal analiz sonuçları

|              | $T_{1X}=0.73344$ sn | $T_{1Y}=0.54421$ sn |
|--------------|---------------------|---------------------|
| Kat No       | $\Phi_{Xi}$         | $\Phi_{Yi}$         |
| 5.Normal Kat | 0,02744             | 0,02819             |
| 4.Normal Kat | 0,02475             | 0,02481             |
| 3.Normal Kat | 0,02062             | 0,02022             |
| 2.Normal Kat | 0,01516             | 0,01459             |
| 1.Normal Kat | 0,00888             | 0,00847             |
| Zemin Kat    | 0,00308             | 0,00293             |

## 5.4 Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemiyle Yatay Yüklerin Hesabı

### 5.4.1 Yapının X Yönü İçin Yatay Yük Hesabı

➤ I.Adım: Binanın Toplam Ağırlığının (W) Hesabı, [10,11]

$$W = \sum_{i=1}^N w_i \quad (5.3)$$

$$W=w_1+w_2+w_3+w_4+w_5+w_6$$

$$W=27052,72 \text{ kN}$$

➤ II.Adım: Spektral İvme Katsayısının ( $A(T_X)$ ) Hesabı

$$A(T_X)=A_0 \cdot I \cdot S(T_X) \quad (5.4)$$

$$A_0=0.40 \text{ (Etkin yer ivmesi katsayısı)}$$

$$I=1.0 \text{ (Bina önem katsayısı)}$$

$$T_A=0.15 \text{ sn (Zemin periyodu)}$$

$$T_B=0.6 \text{ sn (Zemin periyodu)}$$

$$T_X=0.73344 \text{ sn (yapının X yönüne ait doğal titreşim periyodu)}$$

$S(T_X)$  Spektrum katsayısı:

$$T_X > T_B \text{ olduğu için } \rightarrow S(T_X)=2.5 \cdot (T_B/T_X)^{0.8} \quad (5.5)$$

$$S(T_X)=2,1289$$

$$A(T_X)=0.8516$$

➤ III.Adım: Deprem Yüğü Azaltma Katsayısının ( $R_a$ ) Hesabı

$$T_X > T_B \rightarrow R_a(T_X)=R \quad (5.6)$$

$$R=4 \text{ (Normal süneklikli çerçeve elemanlarından teşkil edilmiş yapı)}$$

➤ IV.Adım: Toplam Taban Kesme Kuvvetinin ( $V_t$ ) Hesabı

$$V_t=W \cdot A(T_X)/R_a(T_X) \geq 0.10 \cdot A_0 \cdot I \cdot W \quad (5.7)$$

$$V_t=27052.72 \cdot 0.8516/4 \geq 0.1 \cdot 0.4 \cdot 1.0 \cdot 27052,72$$

$$5759,44 \text{ kN} > 1082,109 \text{ kN}$$

$$V_t=5759,44 \text{ kN}$$

➤ V.Adım: Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüklerinin ( $F_i$ ) Hesabı

$$F_i = (V_t - \Delta F_i) * \frac{w_i * H_i}{\sum (w_i * H_i)} \quad (5.8)$$

$\Delta F_i = 0$  ( $H_N = 16,5 \text{ m} < 25 \text{ m}$  olduğu için)

**Tablo 5.6** Yapıya ait X yönü eşdeğer deprem kuvvetleri

| Vtx (kN) | Tx (sn) | $\Delta F_N$ (kN) | wi (kN)  | Hi (m) | wi*Hi    | topwi*Hi | Fix (kN) |
|----------|---------|-------------------|----------|--------|----------|----------|----------|
| 5759,44  | 0,73344 | 0                 | 4916,6   | 2,5    | 12291,5  | 247569,5 | 285,9486 |
| 5759,44  |         | 0                 | 4641,712 | 5,3    | 24601,07 | 247569,5 | 572,3177 |
| 5759,44  |         | 0                 | 4641,712 | 8,1    | 37597,87 | 247569,5 | 874,6742 |
| 5759,44  |         | 0                 | 4641,712 | 10,9   | 50594,66 | 247569,5 | 1177,031 |
| 5759,44  |         | 0                 | 4641,712 | 13,7   | 63591,45 | 247569,5 | 1479,387 |
| 5759,44  |         | 0                 | 3569,27  | 16,5   | 58892,96 | 247569,5 | 1370,082 |
|          |         |                   |          |        |          |          |          |
|          |         | $\Sigma w_i$      | 27052,72 |        |          | SFix     | 5759,44  |

#### 5.4.2 Yapının Y Yönü İçin Yatay Yük Hesabı

Bu bölümde, Bölüm 5.4.1’de yapılan hesaplamalar, Bölüm 5.3’de hesaplanan kat kütleleri ile  $T_Y$  periyoduna esasen yinelenmiş ve yapının Y yönüne ait yeni yatay kuvvet değerleri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplara göre, toplam taban kesme kuvveti  $V_b = 6763,18 \text{ kN}$  olarak bulunmuştur. Bu kuvvetin katlara göre dağılımı Tablo 5.7 de verilmiştir.

**Tablo 5.7** Yapıya ait Y yönü eşdeğer deprem kuvvetleri

| Vty     | Ty (sn) | $\Delta F_N$ (kN) | wi (kN)  | Hi (m) | wi*Hi    | Topwi*Hi | Fiy (kN) |
|---------|---------|-------------------|----------|--------|----------|----------|----------|
| 6763,18 | 0,54421 | 0                 | 4916,6   | 2,5    | 12291,5  | 247569,5 | 335,783  |
| 6763,18 |         | 0                 | 4641,712 | 5,3    | 24601,07 | 247569,5 | 672,0596 |
| 6763,18 |         | 0                 | 4641,712 | 8,1    | 37597,87 | 247569,5 | 1027,11  |
| 6763,18 |         | 0                 | 4641,712 | 10,9   | 50594,66 | 247569,5 | 1382,16  |
| 6763,18 |         | 0                 | 4641,712 | 13,7   | 63591,45 | 247569,5 | 1737,211 |
| 6763,18 |         | 0                 | 3569,27  | 16,5   | 58892,96 | 247569,5 | 1608,856 |
|         |         |                   |          |        |          |          |          |
|         |         | $\Sigma w_i$      | 27052,72 |        |          | SFiy     | 6763,18  |

## 5.5 Yapının Deprem Güvenliğinin Tahkiki

### 5.5.1 SAP2000 Analiz Programı Kullanılarak Yapılan Tahkikler

Bu bölümde, yapının deprem güvenliği SAP2000 analiz programı kullanılarak tahkik edilmiştir. Modellenen yapının statik itme analizini yapabilmek için analizin hangi adımlardan oluşacağını ve bu adımların kapsamının programa tanıtılması (Pushover durumlarının tanımlanması) gerekmektedir. Statik itme analizi PUSH1 ve PUSH2 olmak üzere iki adımda oluşmaktadır. Bu adımların birincisi olan PUSH1, sabit düşey yüklerin, yapının yanal deplasmanına olan etkisini göz önüne almak için tanımlanmıştır. Böylece, hesaplamalarda, deprem esnasında sabit düşey yüklerin yapıya olan etkisi de göz önünde tutulmuş olur. Zati ve hareketli yüklerden oluşan düşey yükler istenilen bir katsayıyla çarpılarak hesaba dahil edilebilir. Bu çalışmada tahkiki yapılan yapı için düşey yükler, çarpanı 1 alınarak hesaplara dahil edilmiştir. Analizin birinci adımının sonunda, düşey yüklerin yapıda meydana getirdiği deformasyonlar, ikinci adıma ilave edilmek üzere kaydedilir. Analizin ikinci ve son adımı olan PUSH2, belirtilen yatay kuvvetler tarafından yapılacak olan yanal ötelemeyi tanımlamaktadır. Bu noktada SAP2000 pushover analizi için iki alternatif sunmaktadır. Bunlardan ilki kuvvet kontrollü pushover seçeneğidir. Burada tanımlanan herhangi bir yatay yük dağılımı için pushover yapılabilir. Örneğin yukarıda bölüm 5.4.1 ve 5.4.2’de bulunan kuvvetler  $R=1$  değeri için hesaplanıp yapıya gelen elastik deprem yükleri bulunur ve her katın ağırlık merkezine bu kuvvetler etkitilmek suretiyle kuvvet kontrollü pushover analizi yapılabilir. Program hesaplanan kuvvete kadar yapıyı yüklemeye devam eder ve pushover eğrisini oluşturur. İkinci alternatif deplasman kontrollü pushover seçeneğidir. Bu alternatifte yatay yük için herhangi bir yük dağılımı tanımlanır ve yapı seçilen bir deplasman değerine kadar bu yük dağılımının şekline göre ötelenir. Buradaki yük dağılımı için program üç alternatif sunmaktadır. bunlar sırası ile;

1. kullanıcı tarafından tanımlanabilen herhangi bir yük dağılımı
2. Üniform ivme dağılımından meydana gelen yük dağılımı
3. Mod şeklini esas alan yük dağılımı

Bu çalışmada, mod şeklini esas alan yük dağılımı kullanılmış ve modal pushover yapılmıştır. Bu ötelenme, yapı labil hale gelene kadar veya önceden belirlenmiş olan bir deplasman değerine ulaşana kadar devam eder. Analizin bitirileceği bu deplasman

değeri program tarafından binanın toplam yüksekliğinin 0.04 katı olarak kabul edilmektedir. Ancak, bu son derece büyük bir deplasmana (Ele aldığımız yapı için  $\Delta_{\text{çatı}}=16,5*0.04=0.66$  m) tekabül etmektedir. Halbuki analizin, yapı labil hale gelene kadar veya performans noktasını yakalayabilecek bir deplasman değerine kadar devam ettirilmesi yeterlidir. Düşey yüklerin yapının yanal stabilitesine olan etkisini de göz önüne almak için ikinci adımdaki analiz birinci adımın kaldığı yerden devam ettirilir. Programın statik itme analizine başlayabilmesi için öncelikle sistemin doğrusal ve modal analizlerinin yapılması gerekmektedir. Bu analizler tamamlandıktan sonra statik itme analizi yaptırılabilir. Yapılan statik itme analizi neticesinde, her bir ötelenme adımı için binanın karşıladığı taban kesme kuvveti ile yaptığı deplasman (en üst kata ait deplasman) değerleri kaydedilir. Ayrıca, yapı elemanlarının hasar seviyeleri de belirtilir. Yapılan analiz sonucunda, eğer sistem önceden belirlemiş olduğunuz deplasman değerine kadar ötelenmemişse, yapı elemanlarından biri veya birkaçı daha erken göçme değerine ulaşarak sistemin stabilitesinin bozulmasına sebep olmuş demektir. Bu durumda analiz sonuçları bu aşamaya kadar elde edilebilir, bu aşamadan sonra analize son verilir.

Kapsamı yukarıda özetlenmiş olan “Statik İtme Analizi” (pushover) yapının X ve Y yönleri için ayrı ayrı yaptırılarak, her bir yön için yapıya ait kapasite eğrileri elde edilmiştir. Daha sonra bu kapasite eğrileri kullanılarak yapının X ve Y yönlerine ait performans noktaları eşit deplasman kuralına göre, kapasite spektrum yöntemine göre ve deplasman katsayıları yöntemine göre ayrı ayrı belirlenmiştir.

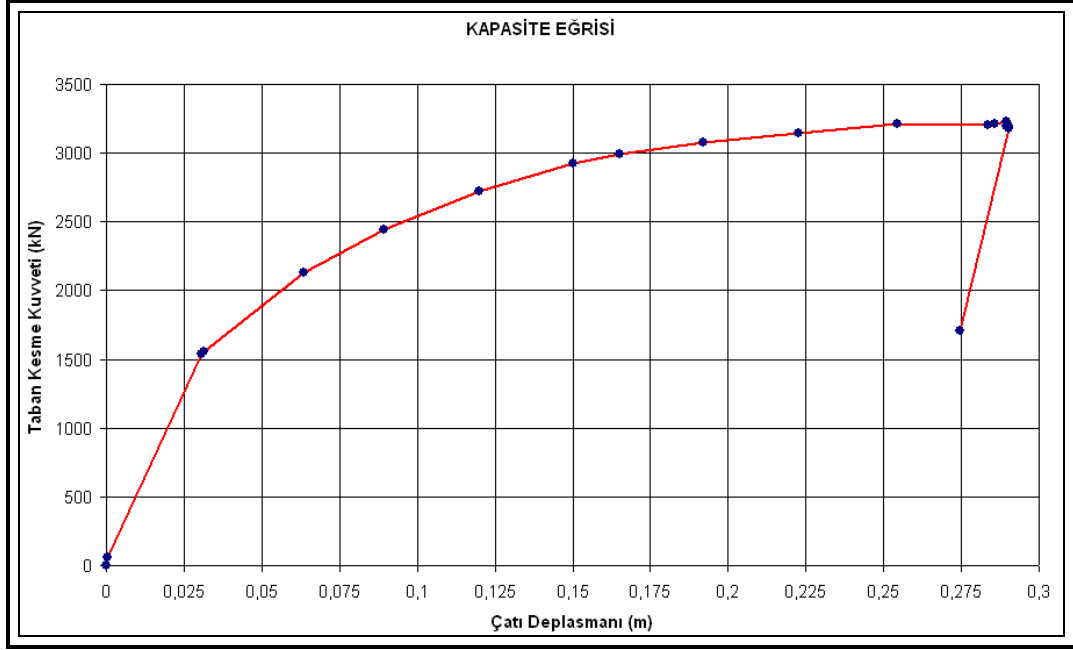
## **5.5.2 Yapının X Yönüne Ait Analiz Sonuçları**

### **5.5.2.1 Eşit Deplasman Kuralı ile performans noktasının bulunması**

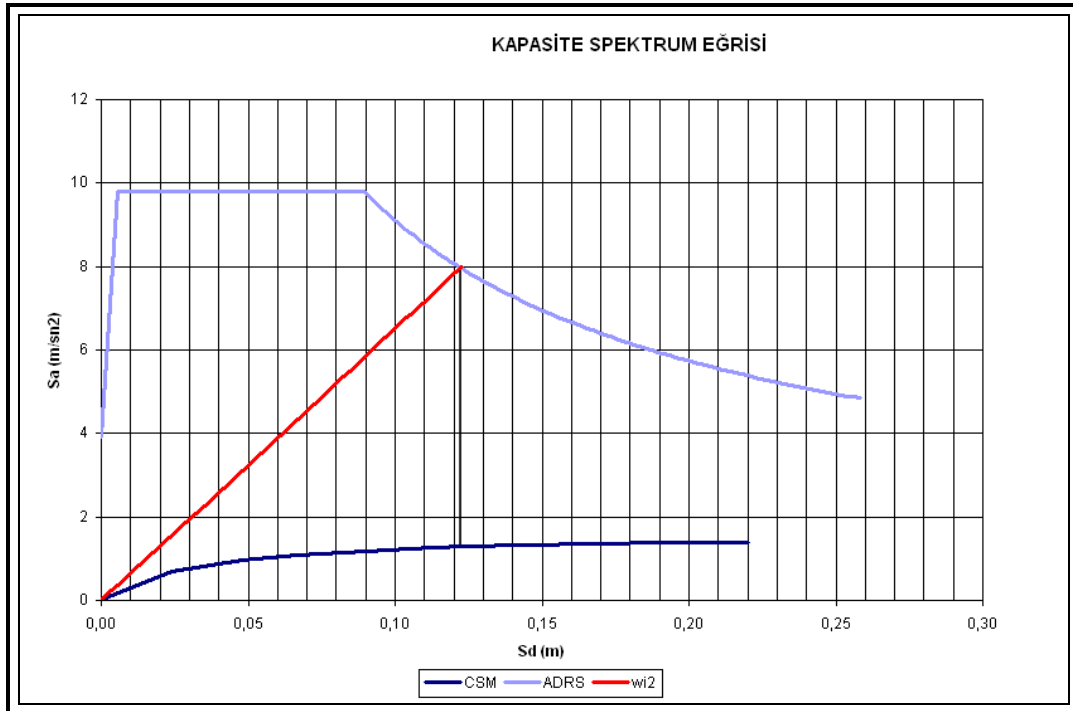
Öncelikle yapının performans noktasının belirlenebilmesi için yapı birinci mod şeklinde çatı deplasmanı 0,28 m oluncaya kadar çekilmiştir. Elde edilen pushover eğrisi kapasite spektrumuna, Response Spektrum eğrisi de spektral koordinatlara göre tekrar çizilerek iki eğrinin aynı grafik içerisinde gösterilmesi sağlanmıştır. Burada kullanılan Response Spektrum eğrisi 1997 ABYYHY Z3 zemin tipine ait olan eğridir. Kapasite spektrum eğrisi belirlendikten sonra eğrinin başlangıç eğimine sahip ( $\omega^2$ ) lineer doğru uzatılarak Response Spektrum eğrisi kestirilir. Kestiği noktadan kapasite spektrumuna dik olarak inilir ( $S_d$  sabit olacak şekilde). Kesişim noktasının apsisi performans noktasına ait spektral deplasman



değerini ordinatı ise spektral ivme değerini verir. Daha sonra bulunan spektral deplasman çatı deplasmanına çevrilir. Artık performans durumuna ait gerçek çatı deplasmanı bilindiğine göre yapı tekrar bulunan bu deplasman kadar çekilerek performans durumuna gelindiğinde plastik mafsalların durumuna ait bilgilere ulaşılabilir.



Şekil 5.3 Yapının X yönüne ait kapasite eğrisi



Şekil 5.4 Yapının X yönüne ait Eşit Deplasman Kuralına göre performans noktasının bulunması

Eşit Deplasman Kuralına göre yapıya ait performans noktasının spektral koordinat değerleri:

$$(S_a; S_d) = (0,1305g; 0,121m)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{\text{\scriptsize çatı}}}{\Gamma_1 \phi_{N1}}$$

Buradan çatı deplasmanı;

$$0,121 = \Delta_{\text{\scriptsize çatı}} / (47,3694 * 0,02744)$$

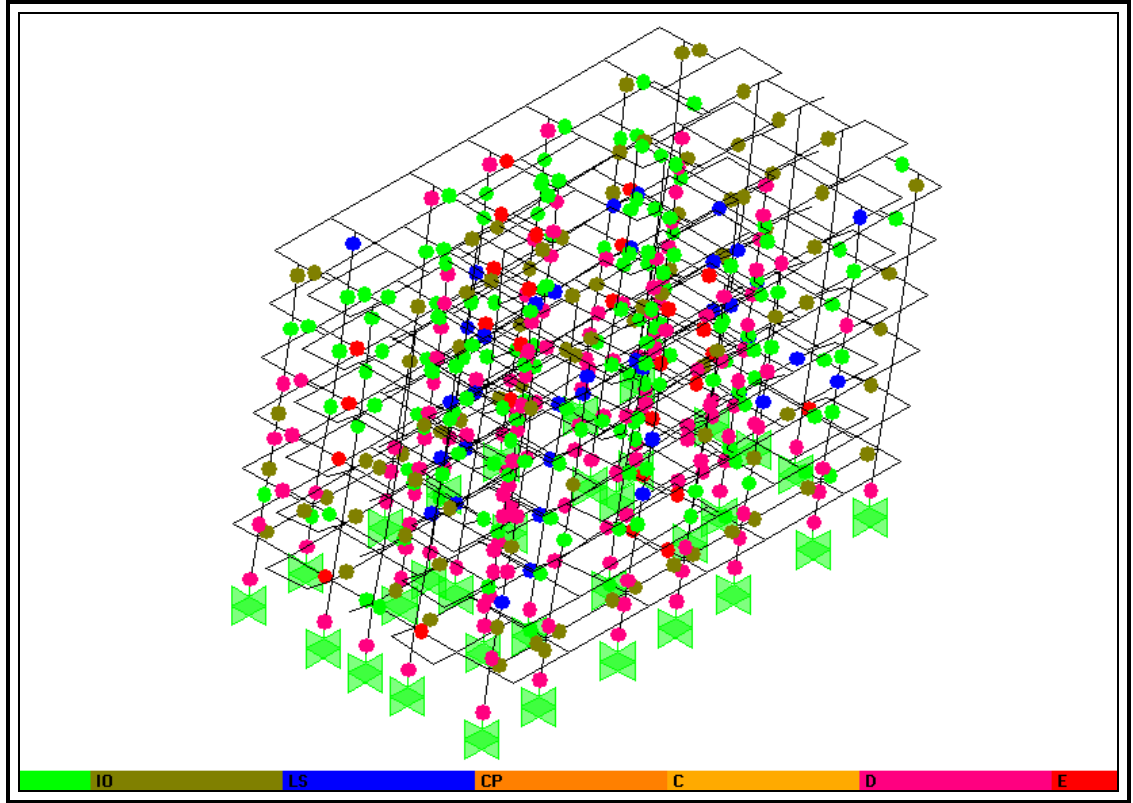
$$\Delta_{\text{\scriptsize çatı}} = 0,157m$$

Eğer yapı 15,7cm çekilirse buna karşılık performans durumundaki plastik mafsallı durumları ve taban kesme kuvveti bulunabilir.

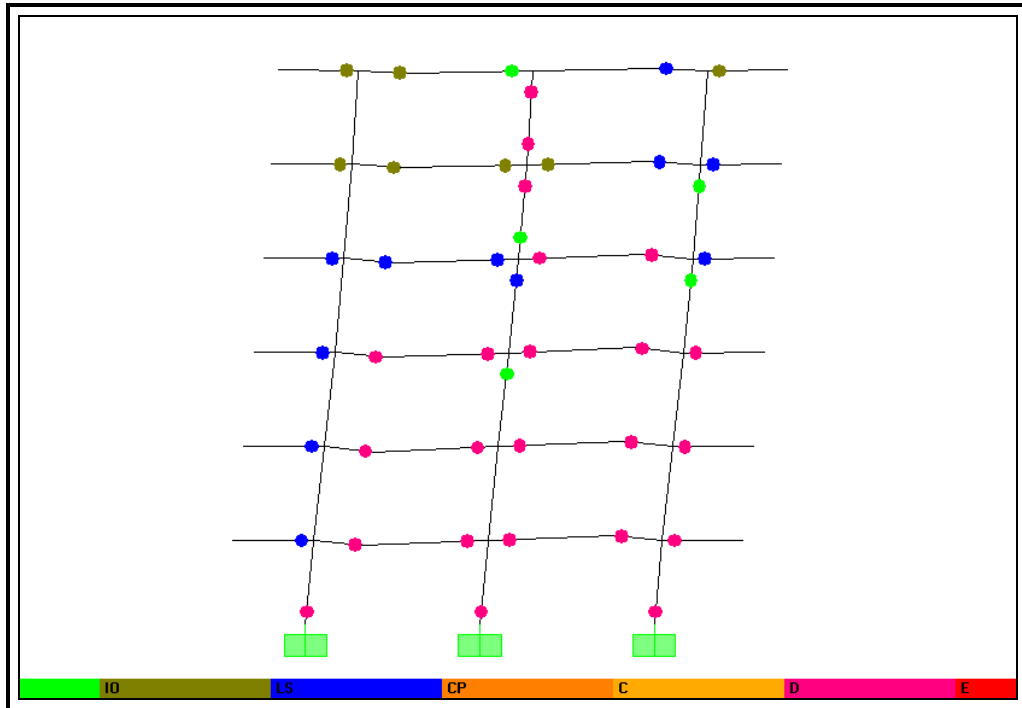
Bu durumda taban kesme kuvveti ve çatı deplasmanı;

$$(V; D) = (2959,68kN; 0,157m)$$

Analiz sonuçlarına göre, sistemin X yönündeki göçme yükü  $V_{\text{göçme}} = 2959,68$  kN bu yüke tekabül eden yük parametresi  $P_{\text{göçme}} = 0,513$  ve göçme anındaki nihai deplasman  $\Delta_{\text{\scriptsize çatı}} = 0.157$  m olarak bulunmuştur. Sistemde oluşan plastik mafsalların 159'u hemen kullanım seviyesinde (B-IO), 89'u hasar kontrol aralığında (IO-LS), 38 tanesi sınırlı güvenlik aralığında (LS-CP) ve 187 tanesi C performans seviyesini geçmiş bulunmaktadır. Oluşan plastik mafsalların yerleri Şekil 5.5'de gösterilmiştir.



**Şekil 5.5** Eşit Deplasman Kuralına göre performans noktasında plastik mafsalların yerleri ve durumları



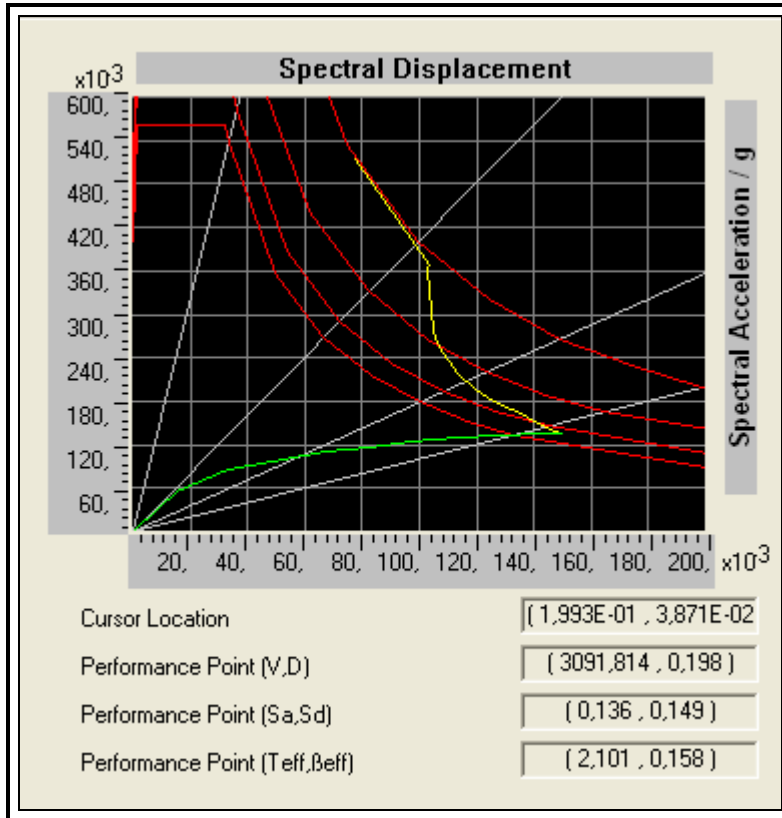
**Şekil 5.6** Konumu XZ düzlemi  $Y=-3,2m$  olan çerçevenin performans noktasındaki plastik mafsalların yerleri ve performans seviyeleri

### 5.5.2.2 Kapasite Spektrumu Yöntemi ile performans noktasının bulunması (ATC-40)

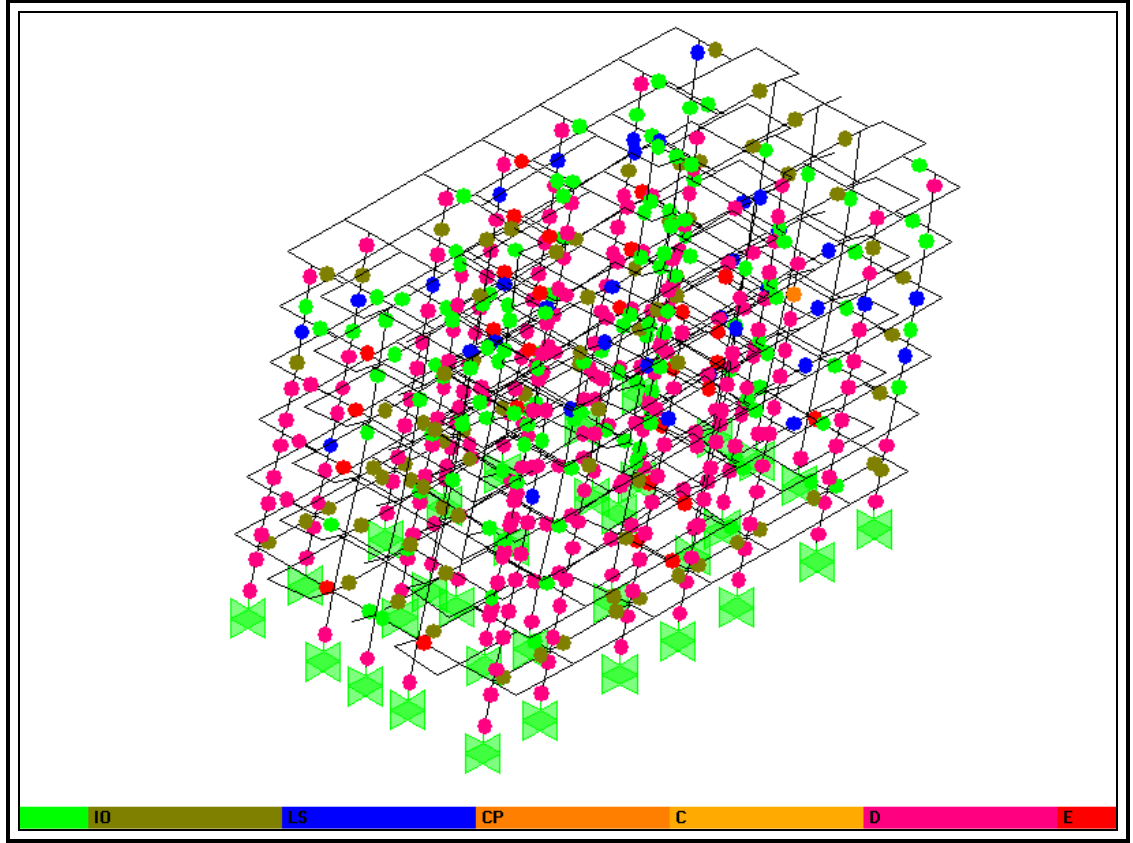
Kapasite spektrum yöntemine göre performans noktasının hesaplanması direkt olarak SAP2000 programına yaptırılmıştır. Buna göre performans noktasına ait değerler;

$$(S_a;S_d) = (0,136g;0,149m)$$

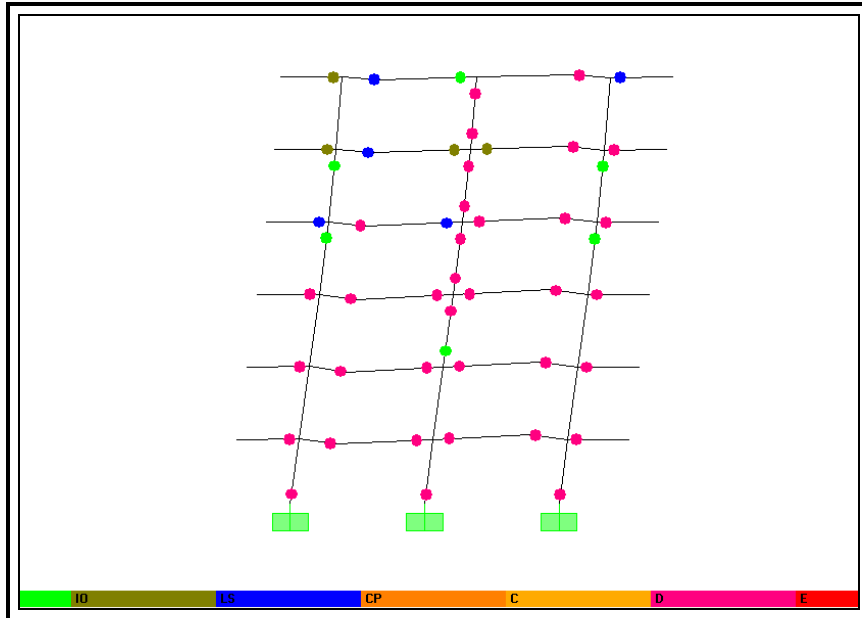
$$(V;D) = (3091,814kN; 0,198m) \text{ bulunmuştur.}$$



Şekil 5.7 Kapasite spektrumu yöntemine göre performans noktasının koordinatları



**Şekil 5.8** Kapasite Spektrum metoduna göre performans noktasında plastik mafsalların yerleri ve durumları

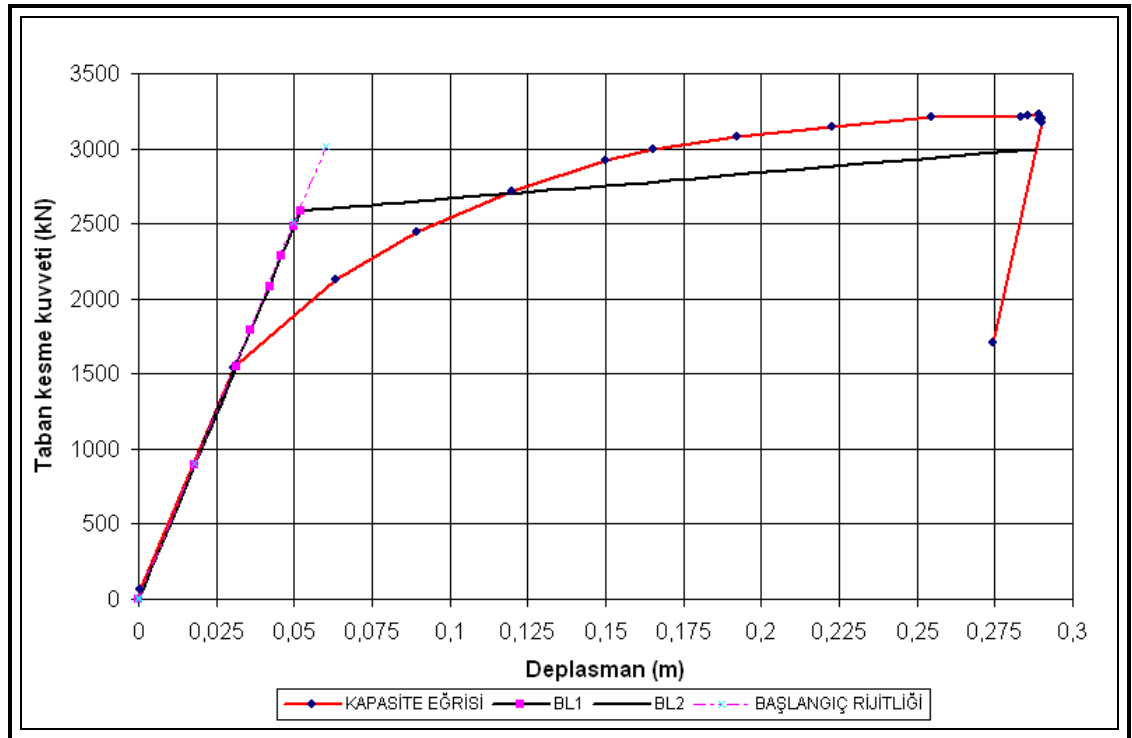


**Şekil 5.9** Konumu XZ düzlemi  $Y=-3,2m$  olan çerçevenin performans noktasındaki plastik mafsalların yerleri ve performans seviyeleri

Analiz sonuçlarına göre, sistemin X yönündeki göçme yükü  $V_{göçme}=3091,814$  kN bu yüke tekabül eden yük parametresi  $P_{göçme}=0,537$  ve göçme anındaki nihai deplasman  $\Delta_{çatı}=0.198$  m olarak bulunmuştur. Sistemde oluşan plastik mafsalların 135'i hemen kullanım seviyesinde (B-IO), 77'si hasar kontrol aralığında (IO-LS), 35 tanesi sınırlı güvenlik aralığında (LS-CP), 1 tanesi (CP-C) aralığında, 288 tanesi C performans seviyesini geçmiş durumdadır.

### 5.5.2.3 Deplasman Katsayıları Yöntemi ile hedef deplasmanın bulunması

Deplasman katsayıları yöntemine göre hedef deplasmanın bulunabilmesi için yapıya ait kapasite eğrisi SAP2000 programı ile elde edildi. Bunun için yapı birinci mod şeklinde çatı deplasmanı 0,28m ye kadar çekildi ve eğrinin tamamı elde edilmiş oldu. Bu noktadan sonra elde edilen eğrinin kırıklı hale getirilmesi ve akma taban kesme kuvvetinin elde edilebilmesi için deneme yanılma metodu uygulandı. Yukarıda konu anlatımında değinildiği gibi bu uygulama akma taban kesme kuvvetinin seçilmesi ve seçilen akma taban kesme kuvvetinin 0,6 katının kapasite eğrisini kesip kesmediğine göre kapasite eğrisinin kırıklı hale getirilmesi ve akma taban kesme kuvvetinin seçilmesi için bir dizi deneme yanılma uygulamasıdır.



Şekil 5.10 Kapasite eğrisinin kırıklı hale getirilmesi ve hedef deplasmanın bulunması

Bu uygulama neticesinde akma taban kesme kuvveti  $V_y=2581,725$  kN bulunmuştur.

Efektif periyot ise elde edilen eğriye bağlı olarak ;

$$K_e = 49648,56 \text{ kN/m}$$

$K_i = 50212,153$  kN/m bu durumda formül (4-1)' e göre ;

$$T_e=0,73759 \text{ sn bulunur.}$$

$$C_o=PF*\phi_{\text{çatı}}=47,3694*0,02744$$

$$C_o=1,29$$

$$C_1=1 \text{ (} T_e>T_s=0,6\text{sn)}$$

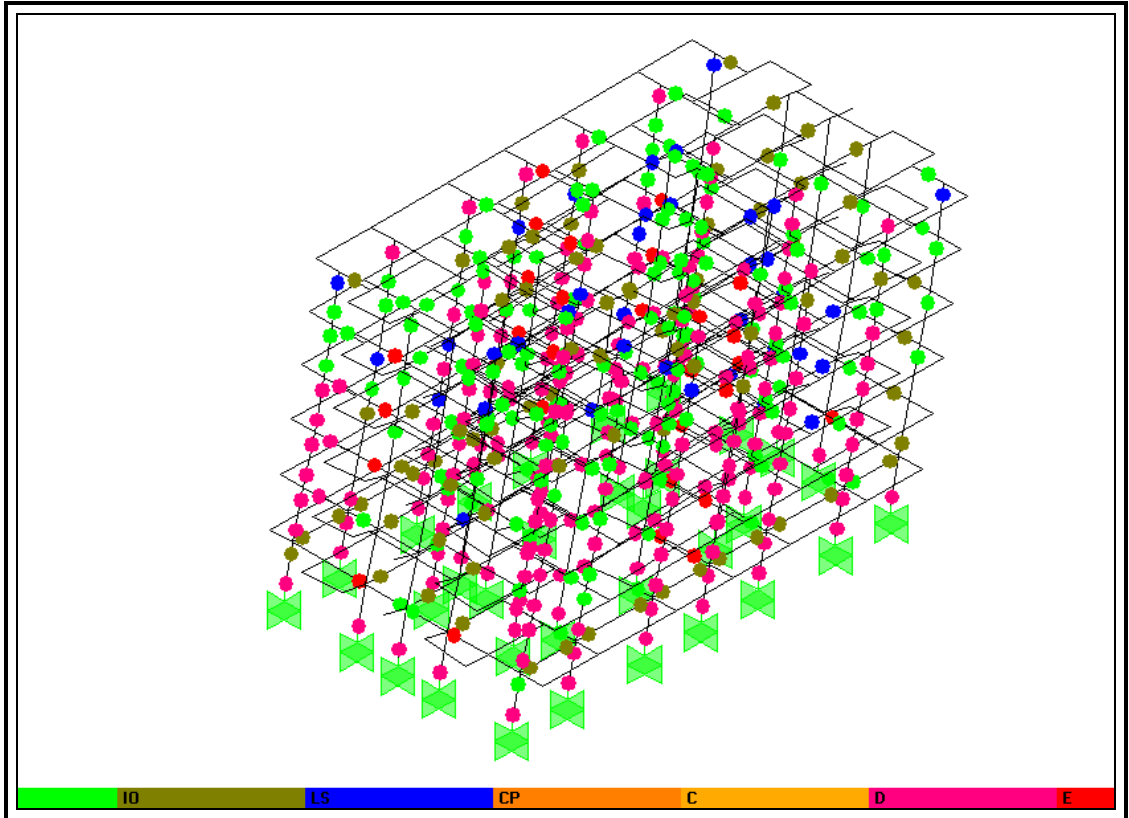
$$C_2=1,2 \text{ (Collapse Prevention)}$$

$$C_3=1 \text{ (pozitif akma sonrası rijitlik)}$$

$$S_a=(2,5*(T_b/T)^{0,8})*0,4*g$$

$S_a=0,852g$  bu durumda formül (4-2)'ye göre hedef deplasman;

$$\delta_t=0,1785 \text{ m bulunur.}$$



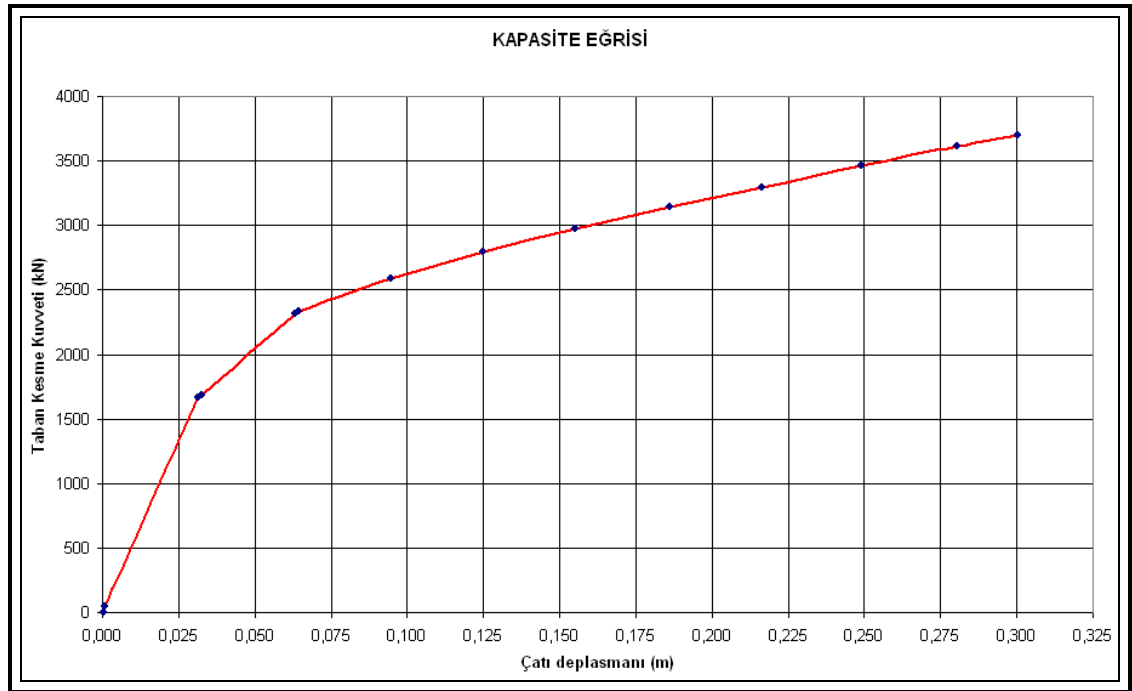
**Şekil 5.11** Hedef deplasman durumunda plastik mafsalların yerleri ve performans seviyeleri

Analiz sonuçlarına göre, sistemin deplasman katsayıları metoduna göre X yönündeki göçme yükü  $V_{göçme}=3038,9644$  kN bu yüke tekabül eden yük parametresi  $P_{göçme}=0,528$  ve göçme anındaki nihai deplasman  $\Delta_{çatı}=0,1785$  m olarak bulunmuştur. Sistemde oluşan plastik mafsalların 156'sı hemen kullanım seviyesinde (B-IO), 81'i hasar kontrol aralığında (IO-LS), 37 tanesi sınırlı güvenlik aralığında (LS-CP), 246 tanesi C performans seviyesini geçmiş durumdadır.

### 5.5.3 Yapının Y Yönüne Ait Analiz Sonuçları

#### 5.5.3.1 Eşit Deplasman Kuralı ile performans noktasının bulunması

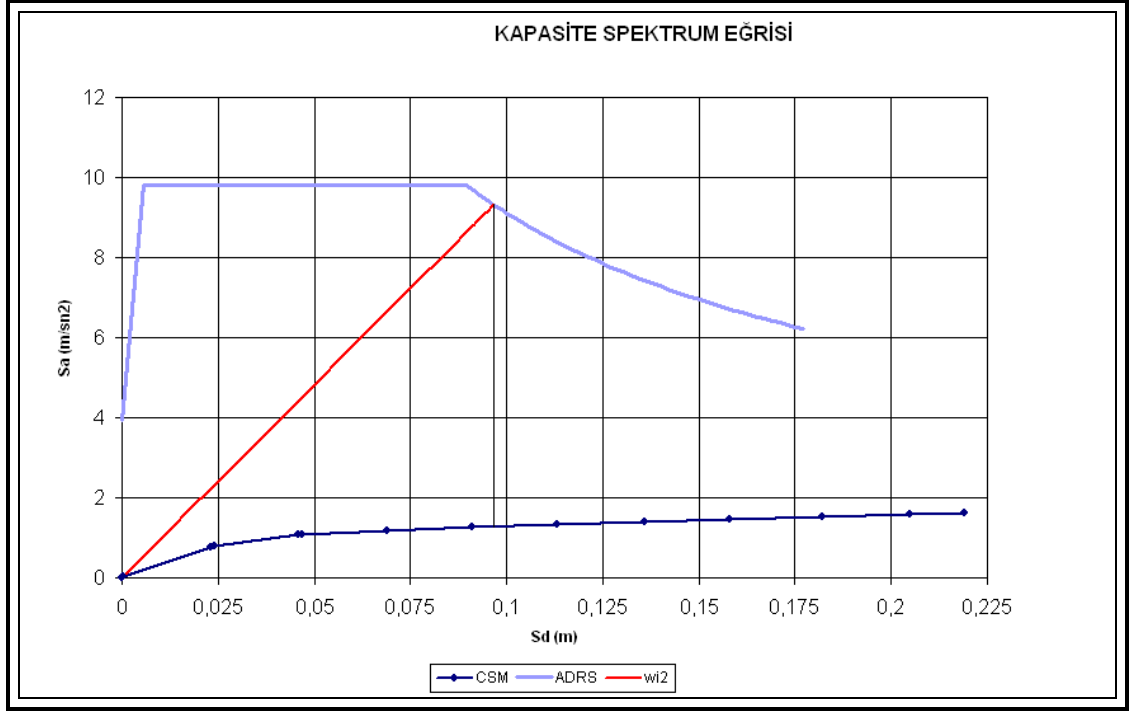
Y yönüne ait performans noktasının Eşit Deplasman Kuralına göre hesaplanması 5.5.2.1 deki yapılan işlemlerin tekrar uygulanması ile bulunmuştur. Yapıya ait kapasite ve kapasite spektrum eğrileri çıkarılmış ve gerekli işlemler uygulanmıştır.



**Şekil 5.12** Yapının Y yönüne ait kapasite eğrisi

Kapasite eğrisi elde edildikten sonra Eşit Deplasman Kuralına göre performans noktası aşağıda gösterildiği gibi bulunmuştur.





**Şekil 5.13** Yapının Y yönünde performans noktasının Eşit Deplasman Kuralına göre bulunması

Y yönünde grafikten de görüldüğü üzere performans noktasına ait spektral deplasman değerleri:

$(S_a; S_d) = (0,1298g; 0,09676m)$  olarak bulunmaktadır. Çatı deplasmanı ise;

$$S_d = \frac{\Delta_{\text{çatı}}}{\Gamma_1 \phi_{N1}}$$

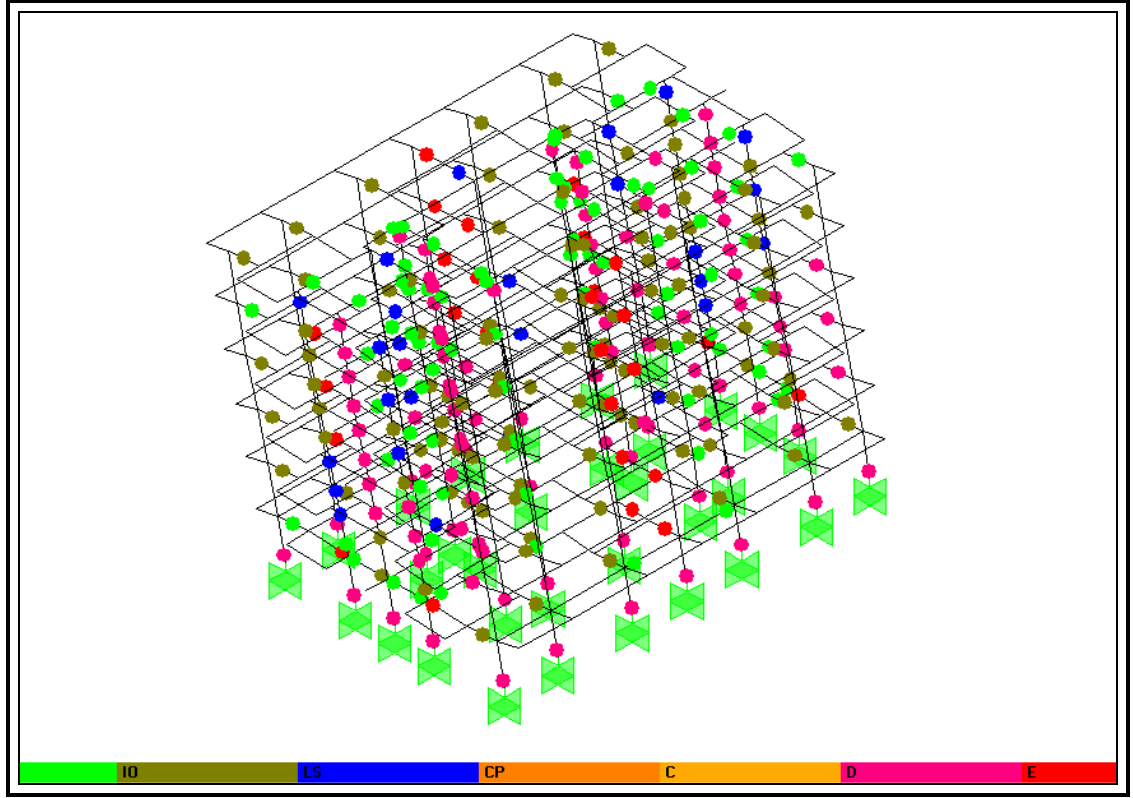
$$0,09676 = \Delta_{\text{çatı}} / (47,0339 * 0,02819)$$

$$\Delta_{\text{çatı}} = 0,1283m$$

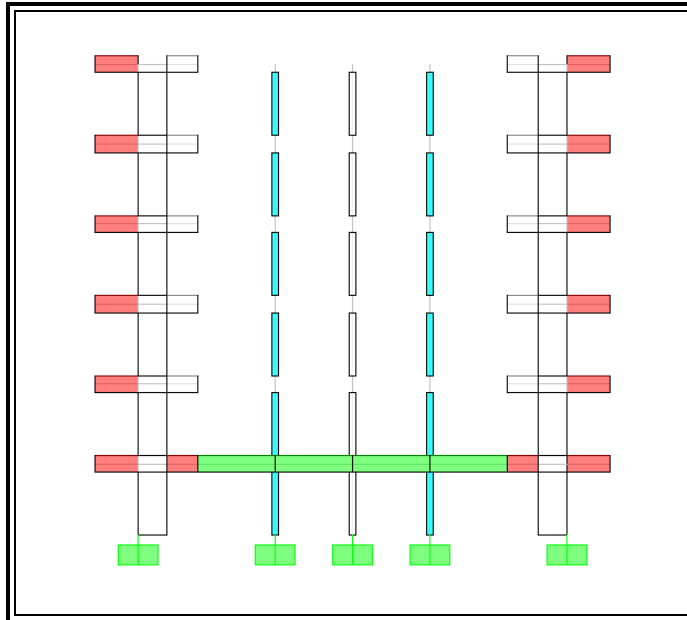
Eğer yapı 12,83 cm çekilirse buna karşılık performans durumundaki plastik mafsalları ve taban kesme kuvveti bulunabilir.

Bu durumda taban kesme kuvveti ve çatı deplasmanı;

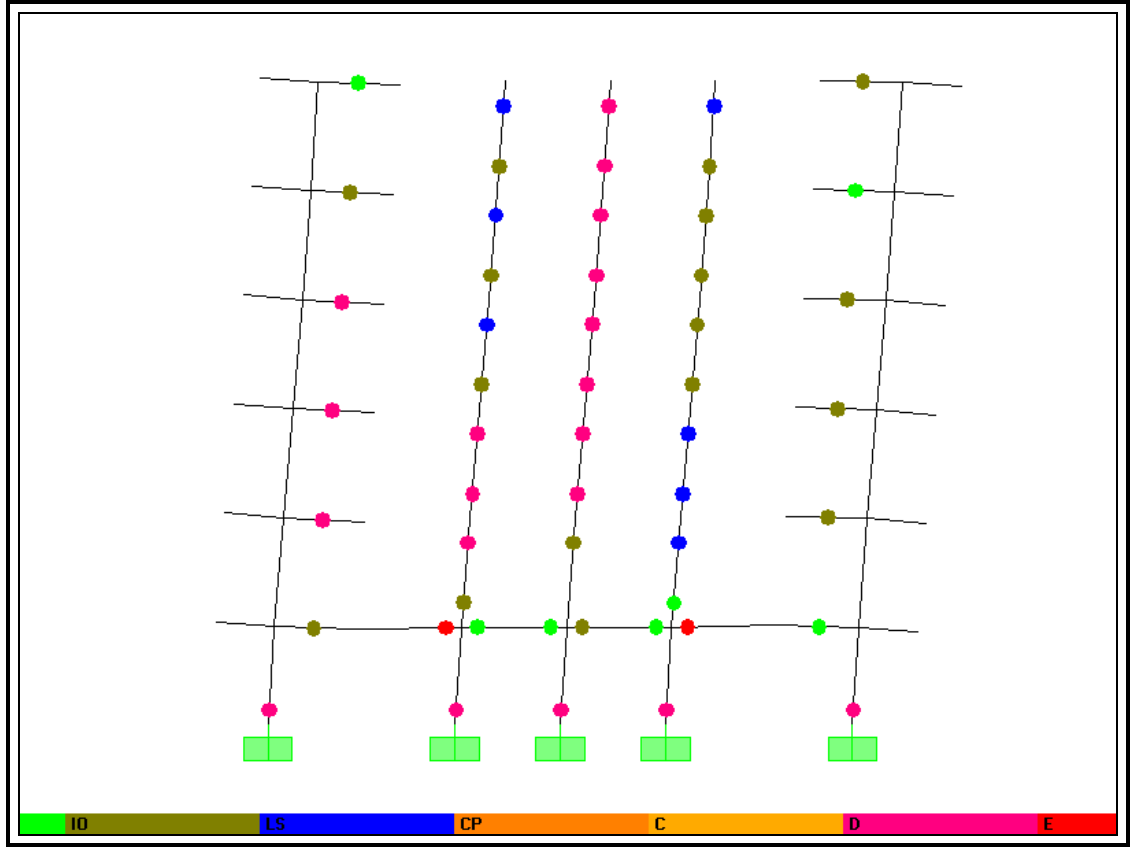
$$(V; D) = (2815,75kN; 0,1283m)$$



**Şekil 5.14** Yapının Y yönünde Eşit Deplasman Kuralına göre performans durumuna geldiğinde plastik mafsalların yerleri ve performans seviyeleri



**Şekil 5.15** Yapının Y yönünde davranışı incelenecek bir çerçevenin hacimlendirilmiş görünüşü. Çerçeve konumu YZ düzlemi X=12,5m



**Şekil 5.16** Performans durumuna gelmiş yapıda konumu belirtilen çerçevede meydana gelen mafsalların yerleri ve performans seviyeleri

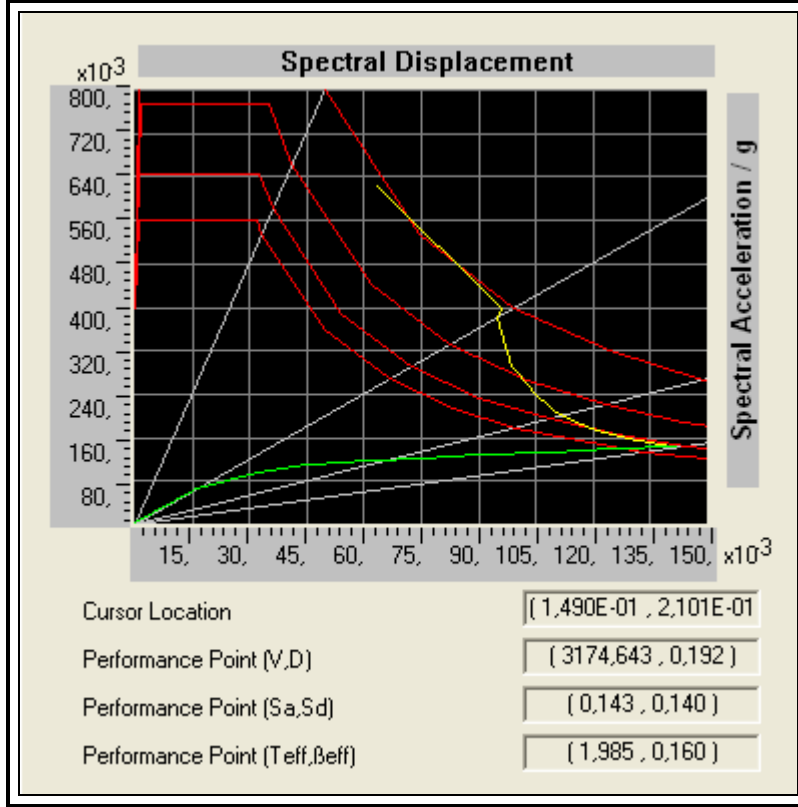
Analiz sonuçlarına göre, sistemin Eşit Deplasman Kuralına göre Y yönündeki göçme yükü  $V_{göçme}=2815,75$  kN bu yüke tekabül eden yük parametresi  $P_{göçme}=0,416$  ve göçme anındaki nihai deplasman  $\Delta_{çatı}=0,1283$  m olarak bulunmuştur. Sistemde oluşan plastik mafsalların 82'si hemen kullanım seviyesinde (B-IO), 105'i hasar kontrol aralığında (IO-LS), 26 tanesi sınırlı güvenlik aralığında (LS-CP), 129 tanesi de C performans seviyesini geçmiş durumdadır.

### 5.5.3.2 Kapasite Spektrumu Yöntemi ile performans noktasının bulunması (ATC-40)

Kapasite spektrum yöntemine göre performans noktasının hesaplanması direkt olarak SAP2000 programına yaptırılmıştır. Buna göre performans noktasına ait değerler;

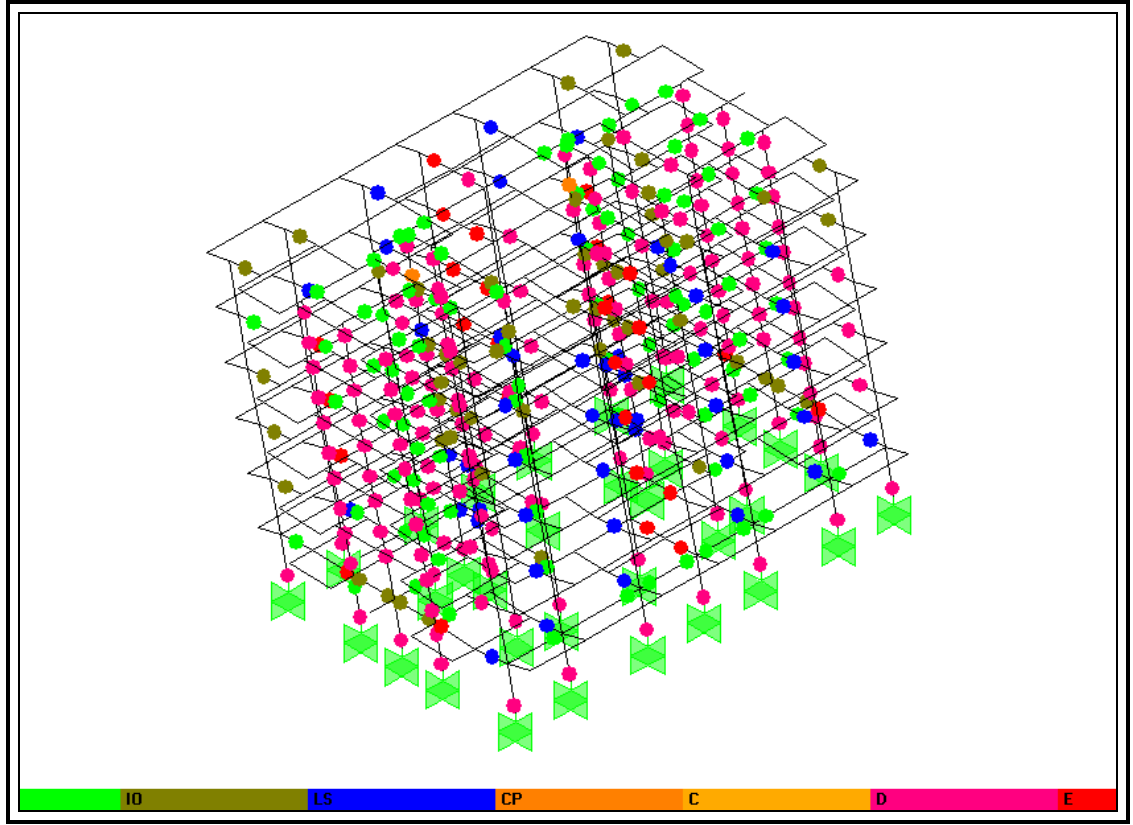
$$(S_a; S_d) = (0,143g; 0,14m)$$

$$(V; D) = (3174,643kN; 0,192m) \text{ bulunmuştur.}$$

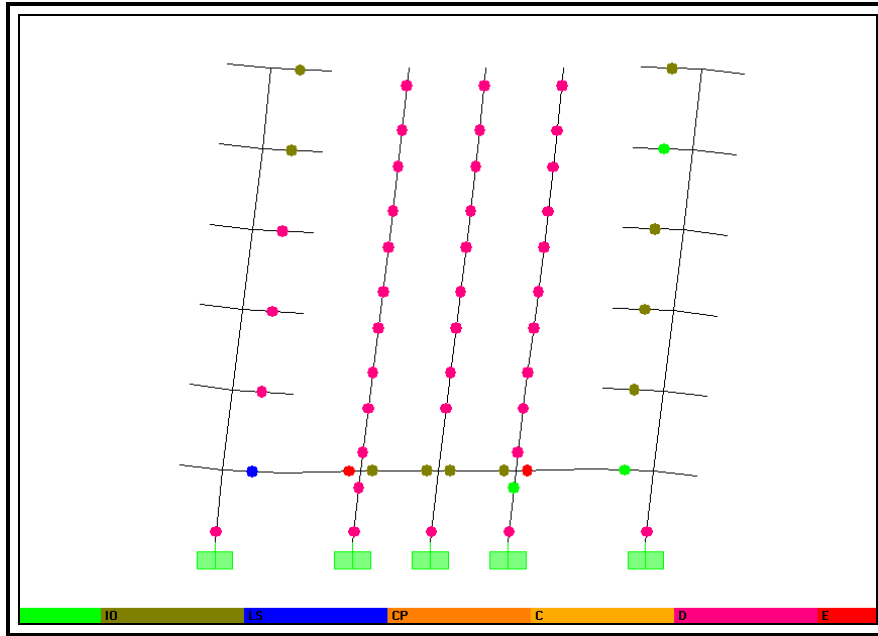


**Şekil 5.17** Yapının Y yönünde Kapasite Spektrum Metoduna göre performans noktasının koordinatları

Analiz sonuçlarına göre, sistemin X yönündeki göçme yükü  $V_{göçme}=3174,643$  kN bu yüke tekabül eden yük parametresi  $P_{göçme}=0,469$  ve göçme anındaki nihai deplasman  $\Delta_{çatı}=0.192$  m olarak bulunmuştur. Sistemde oluşan plastik mafsalların 94'ü hemen kullanım seviyesinde (B-IO), 54'ü hasar kontrol aralığında (IO-LS), 46 tanesi sınırlı güvenlik aralığında (LS-CP), 2 tanesi (CP-C) aralığında, 202 tanesi de C performans seviyesini geçmiş durumdadır.



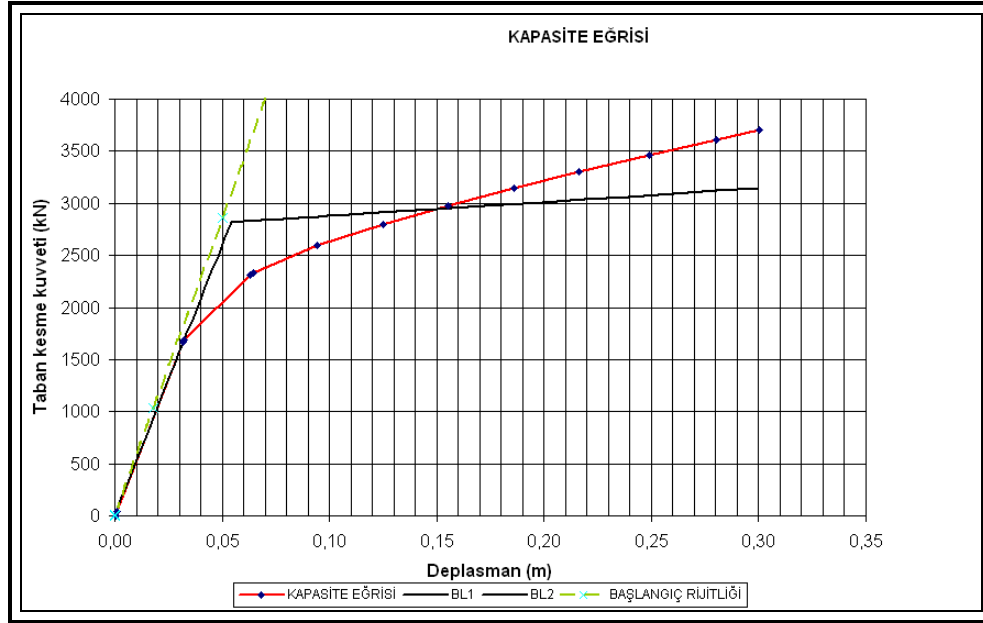
Şekil 5.18 Yapının Y yönünde Kapasite Spektrum Metoduna göre performans durumuna geldiğinde plastik mafsalların yerleri ve performans seviyeleri



Şekil 5.19 Performans durumuna gelmiş yapıda konumu belirtilen çerçevede meydana gelen mafsalların yerleri ve performans seviyeleri

### 5.5.3.3 Deplasman Katsayıları Yöntemi ile hedef deplasmanın bulunması

Burada da 5.5.2.3'te yapılan işlemler aynen uygulanacaktır bu sebeple öncelikle kapasite eğrisinin kırıklı hale getirilmesi ve akma taban kesme kuvvetinin belirlenmesine çalışılacaktır. Aşağıdaki grafikte bu görülmektedir.



**Şekil 5.20** Deplasman Katsayıları Yöntemi için kapasite eğrisinin kırıklı hale getirilmesi ve akma taban kesme kuvvetinin bulunması

$$K_i=57186,3315 \text{ kN/m}, K_e=51960,15 \text{ kN/m ve } V_y=2814,504 \text{ kN}$$

$$T_e=0,5709 \text{ sn}$$

$$C_o=PF*\phi_{\text{çatı}}=47,0339*0,02819\Rightarrow C_o=1,326$$

$$T_e < T_b=0,6 \text{ sn bu durumda } C_1=[1+(R-1)*T_s/T_e]/R$$

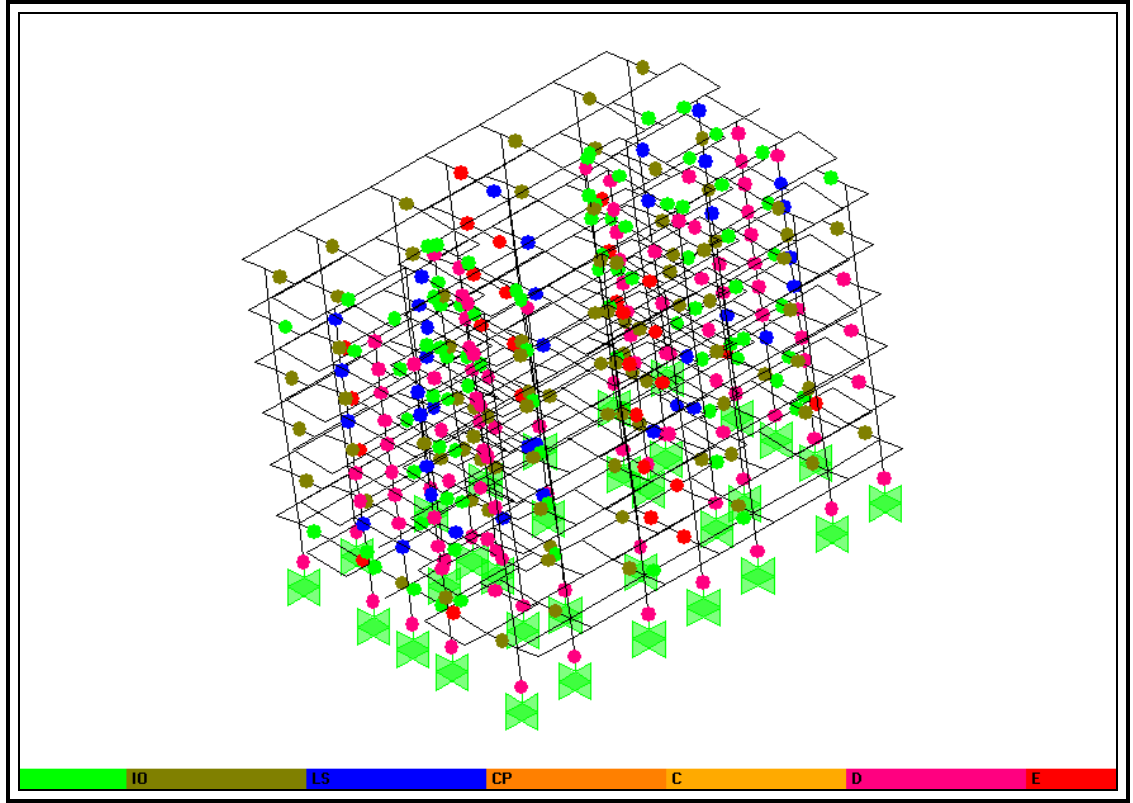
$$R=S_a*C_m/(V_y/W)=1*0,75/(2814,504/27052,72)=7,209$$

$$C_1=[1+(7,209-1)*0,6/0,5709]/7,209=1,0442$$

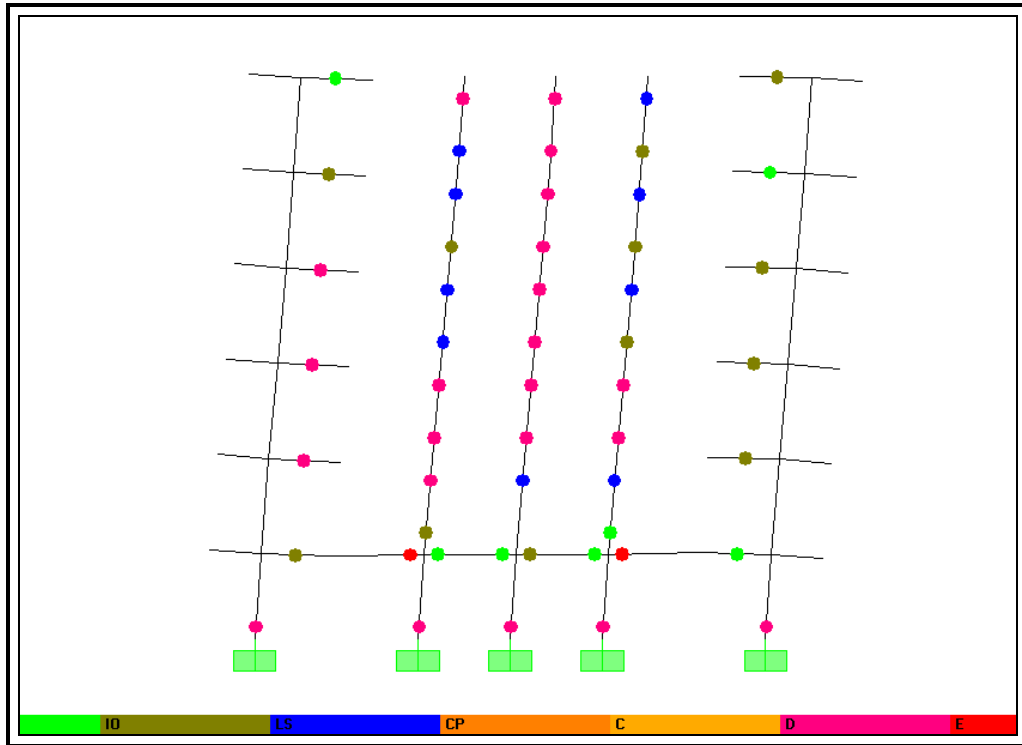
$$C_2=1,2, C_3=1$$

$$\delta_t=1,326*1,0442*1,2*1*9,81*[0,5709*0,5709/(4*\pi^2)]$$

$$\delta_t=0,1348 \text{ m}$$



**Şekil 5.21** Yapının Y yönünde Deplasman Katsayıları Yöntemine göre hedef deplasmana ulaştığında plastik mafsalların yerleri ve performans seviyeleri

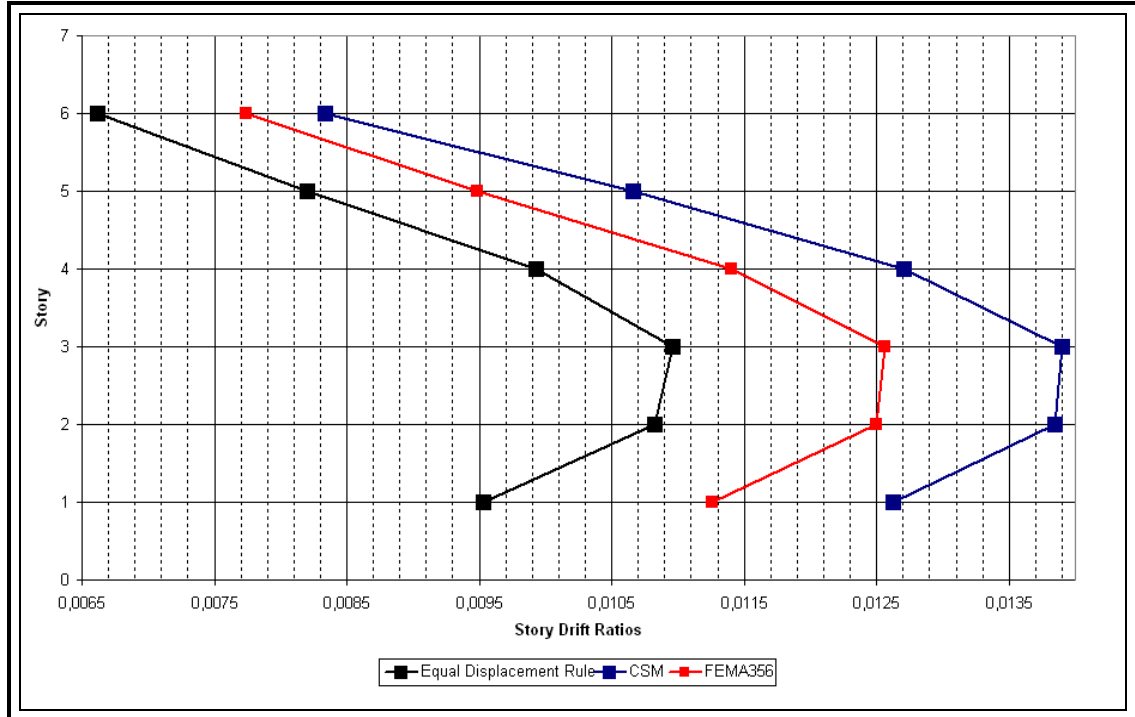


**Şekil 5.22** Hedef deplasmana gelmiş yapıda konumu belirtilen çerçevede meydana gelen mafsalların yerleri ve performans seviyeleri

Analiz sonuçlarına göre, sistemin deplasman katsayıları metoduna göre Y yönündeki göçme yükü  $V_{göçme}=2855,615$  kN bu yüke tekabül eden yük parametresi  $P_{göçme}=0,422$  ve göçme anındaki nihai deplasman  $\Delta_{çatı}=0,1348$  m olarak bulunmuştur. Sistemde oluşan plastik mafsalların 86'sı hemen kullanım seviyesinde (B-IO), 87'si hasar kontrol aralığında (IO-LS), 38'i sınırlı güvenlik aralığında (LS-CP), 135 tanesi de C performans seviyesini geçmiş durumdadır.

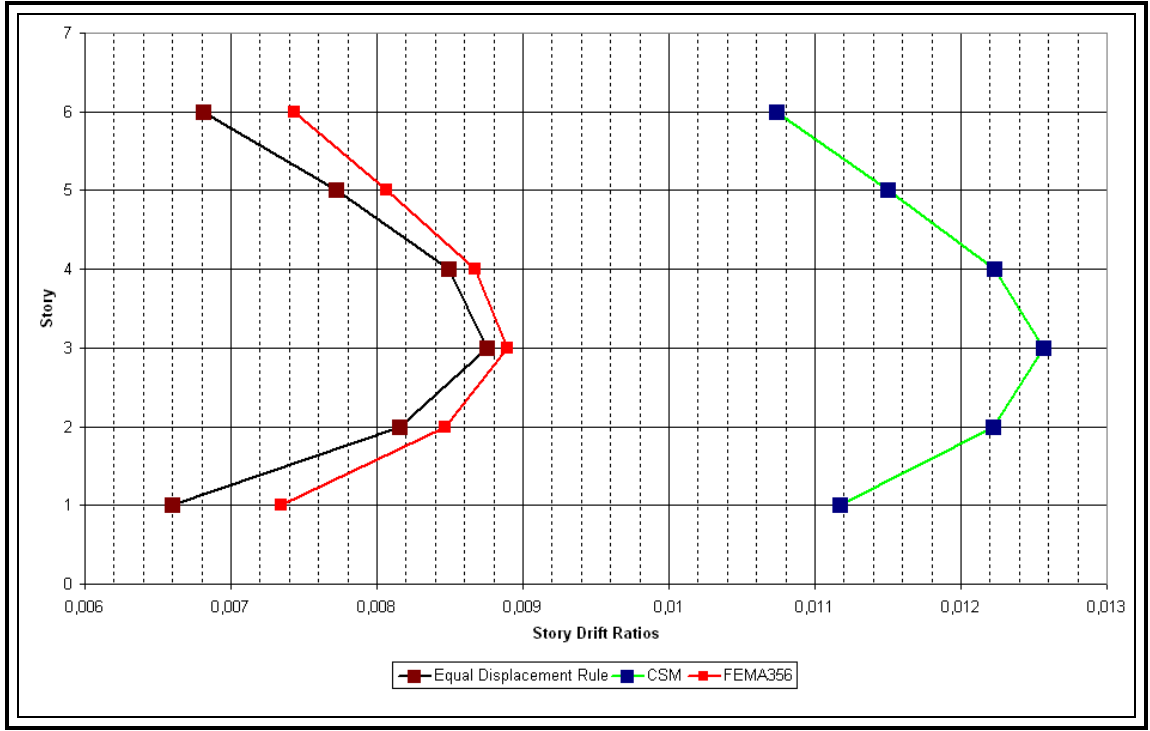
**Tablo 5.8** Kullanılan Üç Yönteme göre X ve Y yönlerine ait Göçme Yüklerinin ve Nihai Çatı Deplasmanlarının Karşılaştırılması

| Yöntem adı: | X yönü     |                    |                  | Y yönü     |                     |                  |
|-------------|------------|--------------------|------------------|------------|---------------------|------------------|
|             | $V_t$ (kN) | $\Delta_{çatı}(m)$ | $V_t/V_{t(R=4)}$ | $V_t$ (kN) | $\Delta_{çatı} (m)$ | $V_t/V_{t(R=4)}$ |
| EDK         | 2959,7     | 0,157              | 0,513            | 2815,7     | 0,1283              | 0,416            |
| CSM         | 3091,8     | 0,198              | 0,537            | 3174,6     | 0,192               | 0,469            |
| DKM         | 3038,9     | 0,1785             | 0,528            | 2855,6     | 0,1348              | 0,422            |



**Şekil 5.23** X yönü göreli kat ötelenmeleri





**Şekil 5.24** Y yönü görelî kat ötelenmeleri

Şekil 5.23 ve Şekil 5.24'de yapının X ve Y yönlerinde görelî kat ötelenmelerinin katlara göre değişimi görülmektedir. Her iki yönde de birinci kat ile ikinci kat arasındaki görelî kat ötelenmelerindeki fark en büyük değerini alarak göze çarpmaktadır. Bu farkın nedeni kalıp planları incelendiğinde daha açık bir şekilde anlam kazanmaktadır. Birinci kat tavanında bulunan ve kenar kolonları birbirine bağlayan kirişler ikinci kattan itibaren iptal edilmiş ve böylece ani bir rijitlik değişimi olmuştur. Bunun neticesinde en büyük rölatif ötelenmeler bu rijitlik değişiminin olduğu katlar arasında görülmüştür.

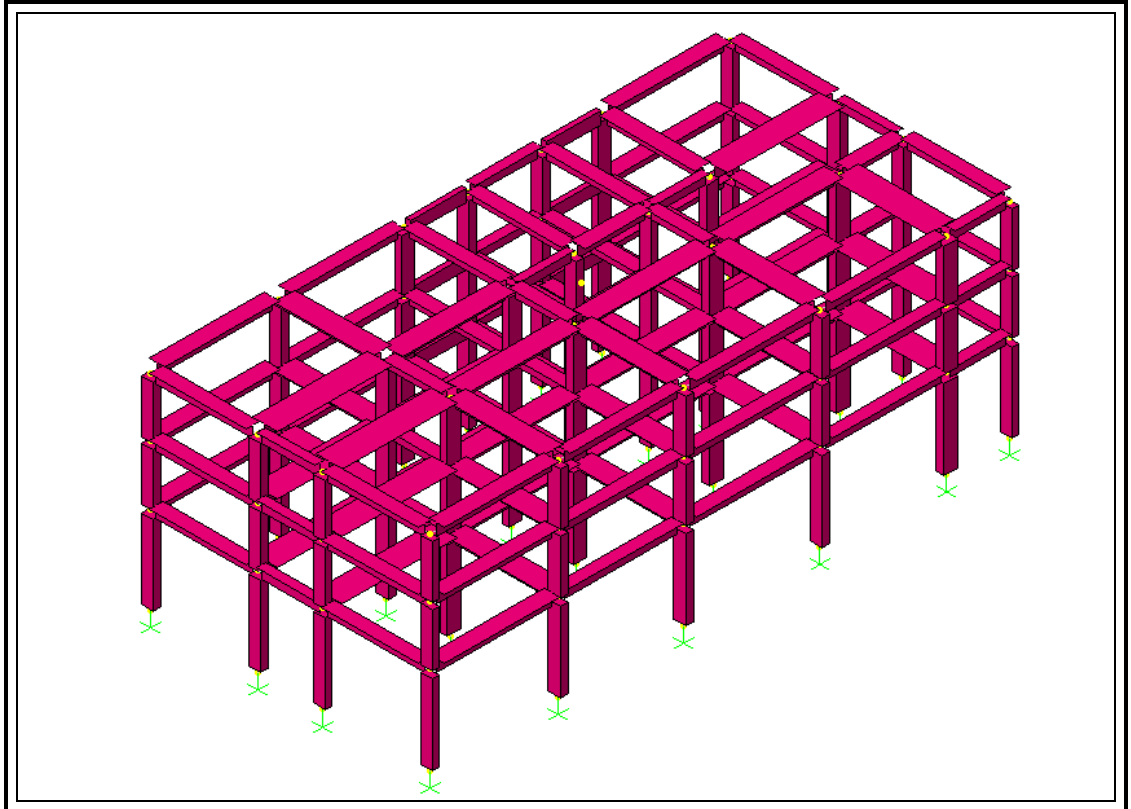
## **6. 1975 DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE ÜÇ KATLI BİR OKUL BİNASININ TASARIMI VE BU BİNANIN MEVCUT DÜŞÜK BETON KALİTESİ VE YETERSİZ SARGI DONATISI ALTINDA PERFORMANSININ BULUNMASI**

### **6. 1 Yapıya Ait Özelliklerin Belirlenmesi**

Bu kısımda aşağıda özellikleri verilen okul binasının 1975 deprem yönetmeliğine göre dizaynı eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapılacak ve daha sonra bu binanın performansı Eşit Deplasman Kuralı, Kapasite Spektrum Metodu ve Deplasman Katsayıları yöntemine göre incelenecektir.

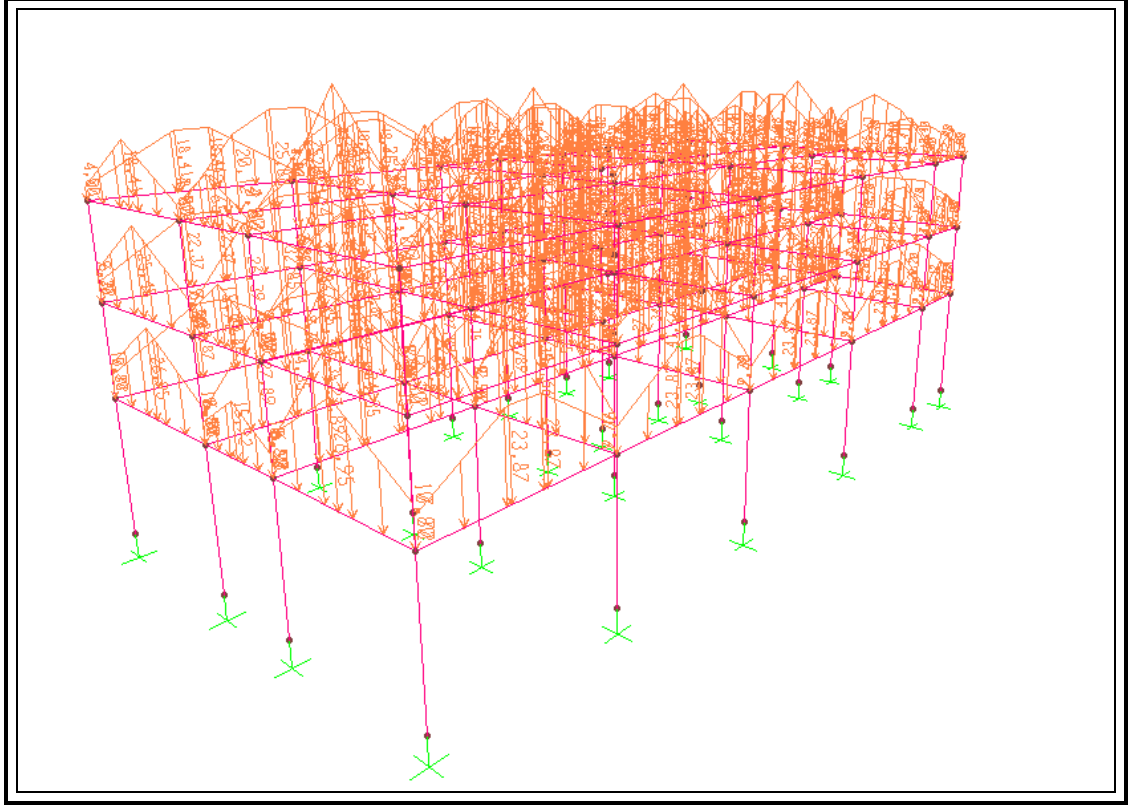
- Dış duvar kalınlığı =19 cm tuğla
- İç duvar kalınlığı = 13 cm tuğla
- Kat sayısı =2 Normal kat + çatı katı
- Kat yüksekliği (h)=4,5m(1.Normal kat tavanı)+3m(2.normal kat+çatı)
- Deprem bölgesi=1. Bölge, Deprem bölge katsatısı,  $Z=0,4$
- Binanın bilinen bir deprem kaynağına uzaklığı=10km
- Hesaplarda göz önüne alınacak deprem türü: Tasarım depremi (ATC-40)
- Deprem etki türü katsayısı  $E=1$  (Tasarım depremi için)
- Deprem bölge katsayısı:  $C_o=0.10$
- Yerel zemin sınıfı  $=Z_3$  (D Grubu zeminler: Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları, gevşek kum, yumuşak kil ve siltli kil)
- Zeminin spektrum karakteristik periyodu:  $T_o=0.60$  sn
- Bina önem katsayısı  $=1.5$  (1975 deprem yönetmeliğine göre)

- Yapı tipi katsayısı  $K=0.8$
- Döşeme türü =Plak döşeme
- Döşeme kaplama malzemesi= Karo mozaik
- Beton sınıfı =BS16
- $E_c=3250\sqrt{16}+14000=27000$  MPa
- Betonun birim kısalması  $\epsilon_{cu}=0.003$
- Çelik sınıfı =BÇI  $f_{yk}=220$  MPa
- Çeliğin birim uzaması  $\epsilon_{su}=\%5$
- Yapı davranış tipi<sup>3</sup> = Tip C
- Hareketli yük katsayısı  $q=0.60$

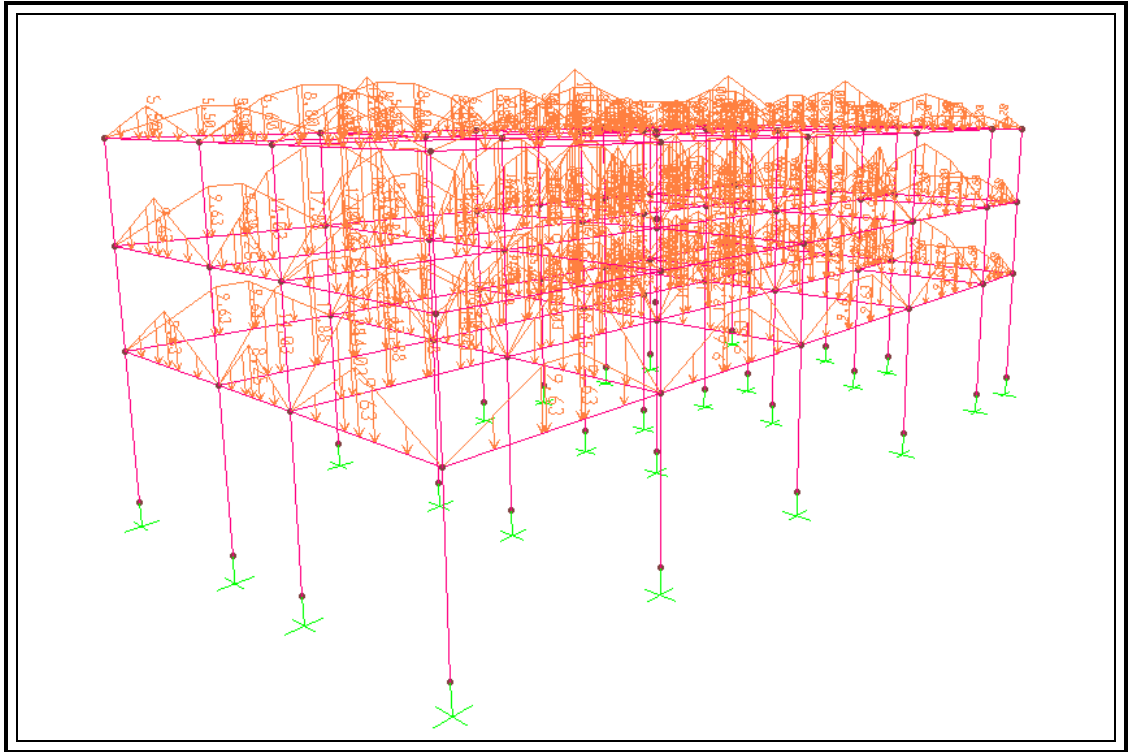


**Şekil 6.1** Yapıya ait üç boyutlu model

<sup>3</sup> Yapı davranış tipi Tablo 3.8'den alınmıştır.



Şekil 6.2 Yapı sabit yükleri (g)



Şekil 6.3 Yapı hareketli yükleri (q)



**Tablo 6.2 1. Normal kat tavanı kat kütlesi,kütlesel atalet momenti ve ağırlık merkezi**

|          | a(m)  | b(m)  | g(KN/m2) | q(KN/m2) | g(KN/m3) | x(m)  | y(m)  | h(m) | Wi(KN)  | Mi(KNs2/m) | Mixi    | Miyi    | MMio    | MD2     | MMio+MD2 |           |
|----------|-------|-------|----------|----------|----------|-------|-------|------|---------|------------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|
| D101     | 6.55  | 5.50  | 5.87     | 3.50     | 25.00    | 3.35  | 11.70 | 0.15 | 287.12  | 29.27      | 98.05   | 342.44  | 178.42  | 4736.22 | 4914.64  |           |
| D102     | 6.45  | 5.50  | 5.87     | 3.50     | 25.00    | 9.93  | 11.70 | 0.15 | 282.74  | 28.82      | 286.05  | 337.21  | 172.57  | 1367.84 | 1540.42  |           |
| DD103    | 3.20  | 5.50  | 9.07     | 3.50     | 25.00    | 14.75 | 11.70 | 0.15 | 196.59  | 20.04      | 295.59  | 234.47  | 67.62   | 371.56  | 439.17   |           |
| SAHANLIK | 3.80  | 5.50  | 5.87     | 5.00     | 25.00    | 18.25 | 11.70 | 0.15 | 185.38  | 18.90      | 344.88  | 221.10  | 70.38   | 504.57  | 574.95   |           |
| DD104    | 3.10  | 5.50  | 9.07     | 3.50     | 25.00    | 21.70 | 11.70 | 0.15 | 190.45  | 19.41      | 421.28  | 227.14  | 64.49   | 1140.01 | 1204.49  |           |
| D1051    | 3.40  | 5.50  | 5.87     | 3.50     | 25.00    | 24.95 | 11.70 | 0.15 | 149.04  | 15.19      | 379.05  | 177.75  | 52.93   | 1681.23 | 1734.16  |           |
| D1052    | 3.20  | 5.50  | 5.87     | 3.50     | 25.00    | 28.25 | 11.70 | 0.15 | 140.27  | 14.30      | 403.94  | 167.30  | 48.25   | 2645.51 | 2693.76  |           |
| D106     | 6.55  | 3.30  | 5.87     | 5.00     | 25.00    | 3.35  | 7.30  | 0.15 | 191.73  | 19.54      | 65.47   | 142.67  | 87.61   | 2807.29 | 2894.90  |           |
| D107     | 6.45  | 3.30  | 5.87     | 5.00     | 25.00    | 9.93  | 7.30  | 0.15 | 188.80  | 19.25      | 191.01  | 140.49  | 84.19   | 563.47  | 647.66   |           |
| D1081    | 3.20  | 3.30  | 5.87     | 5.00     | 25.00    | 14.75 | 7.30  | 0.15 | 93.67   | 9.55       | 140.83  | 69.70   | 16.81   | 3.43    | 20.24    |           |
| D1082    | 3.80  | 3.30  | 5.87     | 5.00     | 25.00    | 18.25 | 7.30  | 0.15 | 111.23  | 11.34      | 206.93  | 82.77   | 23.93   | 96.60   | 120.53   |           |
| D1091    | 3.10  | 3.30  | 5.87     | 5.00     | 25.00    | 21.70 | 7.30  | 0.15 | 90.74   | 9.25       | 200.72  | 67.52   | 15.80   | 374.99  | 390.79   |           |
| D1092    | 3.40  | 3.30  | 5.87     | 5.00     | 25.00    | 24.95 | 7.30  | 0.15 | 99.52   | 10.14      | 253.12  | 74.06   | 18.98   | 938.20  | 957.18   |           |
| D1093    | 3.20  | 3.30  | 5.87     | 5.00     | 25.00    | 28.25 | 7.30  | 0.15 | 93.67   | 9.55       | 269.73  | 69.70   | 16.81   | 1592.95 | 1609.76  |           |
| D110     | 6.55  | 5.50  | 5.87     | 3.50     | 25.00    | 3.35  | 2.83  | 0.15 | 287.12  | 29.27      | 98.05   | 82.68   | 178.42  | 4825.28 | 5003.70  |           |
| D111     | 6.45  | 5.50  | 5.87     | 3.50     | 25.00    | 9.93  | 2.83  | 0.15 | 282.74  | 28.82      | 286.05  | 81.42   | 172.57  | 1455.54 | 1628.12  |           |
| D1121    | 3.20  | 5.50  | 5.87     | 3.50     | 25.00    | 14.75 | 2.83  | 0.15 | 140.27  | 14.30      | 210.91  | 40.39   | 48.25   | 308.62  | 356.87   |           |
| D1122    | 3.80  | 5.50  | 5.87     | 3.50     | 25.00    | 18.25 | 2.83  | 0.15 | 166.57  | 16.98      | 309.88  | 47.97   | 63.24   | 505.05  | 568.28   |           |
| D1131    | 3.10  | 5.50  | 5.87     | 3.50     | 25.00    | 21.70 | 2.83  | 0.15 | 135.89  | 13.85      | 300.59  | 39.13   | 46.01   | 855.57  | 901.58   |           |
| D1132    | 3.40  | 5.50  | 5.87     | 3.50     | 25.00    | 24.95 | 2.83  | 0.15 | 149.04  | 15.19      | 379.05  | 42.92   | 52.93   | 1727.46 | 1780.39  |           |
| D114     | 3.20  | 5.50  | 5.87     | 3.50     | 25.00    | 28.25 | 2.83  | 0.15 | 140.27  | 14.30      | 403.94  | 40.39   | 48.25   | 2689.02 | 2737.27  |           |
| S101     | 0.40  | 0.60  |          |          | 25.00    | 0.15  | 14.45 | 3.00 | 18.00   | 1.83       | 0.28    | 26.51   | 0.08    | 513.37  | 513.45   |           |
| S102     | 0.40  | 0.60  |          |          | 25.00    | 6.70  | 14.45 | 3.00 | 18.00   | 1.83       | 12.29   | 26.51   | 0.08    | 227.11  | 227.19   |           |
| S103     | 0.65  | 0.35  |          |          | 25.00    | 13.15 | 14.45 | 3.00 | 17.06   | 1.74       | 22.87   | 25.13   | 0.08    | 93.92   | 93.99    |           |
| S104     | 0.40  | 0.60  |          |          | 25.00    | 16.35 | 14.45 | 3.00 | 18.00   | 1.83       | 30.00   | 26.51   | 0.08    | 92.21   | 92.29    |           |
| S105     | 0.40  | 0.60  |          |          | 25.00    | 20.15 | 14.45 | 3.00 | 18.00   | 1.83       | 36.97   | 26.51   | 0.08    | 132.87  | 132.95   |           |
| S106     | 0.65  | 0.35  |          |          | 25.00    | 23.25 | 14.45 | 3.00 | 17.06   | 1.74       | 40.44   | 25.13   | 0.08    | 194.60  | 194.68   |           |
| S107     | 0.35  | 0.60  |          |          | 25.00    | 29.85 | 14.45 | 3.00 | 15.75   | 1.61       | 47.92   | 23.20   | 0.06    | 417.32  | 417.39   |           |
| S108     | 0.40  | 0.60  |          |          | 25.00    | 0.15  | 8.95  | 3.00 | 18.00   | 1.83       | 0.28    | 16.42   | 0.08    | 427.27  | 427.35   |           |
| S109     | 0.40  | 0.60  |          |          | 25.00    | 6.70  | 8.95  | 3.00 | 18.00   | 1.83       | 12.29   | 16.42   | 0.08    | 141.01  | 141.09   |           |
| S110     | 0.65  | 0.35  |          |          | 25.00    | 13.15 | 8.95  | 3.00 | 17.06   | 1.74       | 22.87   | 15.57   | 0.08    | 12.30   | 12.38    |           |
| S111     | 0.35  | 0.60  |          |          | 25.00    | 16.35 | 8.95  | 3.00 | 15.75   | 1.61       | 26.25   | 14.37   | 0.06    | 5.35    | 5.41     |           |
| S112     | 0.35  | 0.60  |          |          | 25.00    | 20.15 | 8.95  | 3.00 | 15.75   | 1.61       | 32.35   | 14.37   | 0.06    | 40.92   | 40.99    |           |
| S113     | 0.65  | 0.40  |          |          | 25.00    | 23.25 | 8.95  | 3.00 | 19.50   | 1.99       | 46.22   | 17.79   | 0.10    | 129.12  | 129.22   |           |
| S114     | 0.40  | 0.65  |          |          | 25.00    | 29.85 | 8.95  | 3.00 | 19.50   | 1.99       | 59.33   | 17.79   | 0.10    | 423.40  | 423.50   |           |
| S115     | 0.35  | 0.60  |          |          | 25.00    | 0.15  | 5.65  | 3.00 | 15.75   | 1.61       | 0.24    | 9.07    | 0.06    | 375.28  | 375.34   |           |
| S116     | 0.70  | 0.35  |          |          | 25.00    | 6.70  | 5.65  | 3.00 | 18.38   | 1.87       | 12.55   | 10.58   | 0.10    | 145.60  | 145.70   |           |
| S117     | 0.70  | 0.40  |          |          | 25.00    | 13.15 | 5.65  | 3.00 | 21.00   | 2.14       | 28.15   | 12.09   | 0.12    | 17.03   | 17.14    |           |
| S118     | 0.70  | 0.40  |          |          | 25.00    | 20.15 | 5.65  | 3.00 | 21.00   | 2.14       | 43.13   | 12.09   | 0.12    | 56.46   | 56.57    |           |
| S119     | 0.70  | 0.40  |          |          | 25.00    | 26.65 | 5.65  | 3.00 | 21.00   | 2.14       | 57.05   | 12.09   | 0.12    | 280.92  | 281.03   |           |
| S120     | 0.40  | 0.60  |          |          | 25.00    | 29.85 | 5.65  | 3.00 | 18.00   | 1.83       | 54.77   | 10.37   | 0.08    | 392.46  | 392.54   |           |
| S121     | 0.35  | 0.60  |          |          | 25.00    | 0.15  | 0.15  | 3.00 | 15.75   | 1.61       | 0.24    | 0.24    | 0.06    | 455.35  | 455.41   |           |
| S122     | 0.40  | 0.65  |          |          | 25.00    | 6.70  | 0.15  | 3.00 | 19.50   | 1.99       | 13.32   | 0.30    | 0.10    | 253.65  | 253.75   |           |
| S123     | 0.40  | 0.65  |          |          | 25.00    | 13.15 | 0.15  | 3.00 | 19.50   | 1.99       | 26.14   | 0.30    | 0.10    | 114.95  | 115.04   |           |
| S124     | 0.40  | 0.65  |          |          | 25.00    | 20.15 | 0.15  | 3.00 | 19.50   | 1.99       | 40.05   | 0.30    | 0.10    | 151.56  | 151.66   |           |
| S125     | 0.70  | 0.40  |          |          | 25.00    | 26.65 | 0.15  | 3.00 | 21.00   | 2.14       | 57.05   | 0.32    | 0.12    | 387.68  | 387.79   |           |
| S126     | 0.35  | 0.60  |          |          | 25.00    | 29.85 | 0.15  | 3.00 | 15.75   | 1.61       | 47.92   | 0.24    | 0.06    | 423.47  | 423.54   |           |
| 11AKSI   | 0.25  | 14.60 |          |          | 25.00    | 0.15  | 7.30  |      | 125.62  | 12.80      | 1.92    | 93.48   | 227.52  | 2952.56 | 3180.08  |           |
| 22AKSI   | 0.25  | 14.60 |          |          | 25.00    | 6.70  | 7.30  |      | 99.97   | 10.19      | 68.28   | 74.39   | 181.08  | 759.92  | 940.99   |           |
| 33AKSI   | 0.25  | 14.60 |          |          | 25.00    | 13.15 | 7.30  |      | 99.97   | 10.19      | 134.01  | 74.39   | 181.08  | 48.80   | 229.88   |           |
| 44AKSI   | 0.25  | 14.60 |          |          | 25.00    | 16.35 | 11.70 |      | 51.15   | 5.21       | 85.25   | 61.00   | 92.65   | 100.27  | 192.92   |           |
| 55AKSI   | 0.25  | 14.60 |          |          | 25.00    | 20.15 | 7.75  |      | 108.11  | 11.02      | 222.06  | 85.38   | 195.81  | 256.66  | 452.47   |           |
| 66AKSI   | 0.25  | 14.60 |          |          | 25.00    | 23.25 | 11.70 |      | 43.23   | 4.41       | 102.46  | 51.56   | 78.30   | 356.32  | 434.62   |           |
| 77AKSI   | 0.25  | 14.60 |          |          | 25.00    | 26.65 | 2.83  |      | 73.23   | 7.46       | 198.94  | 21.09   | 132.64  | 1114.41 | 1247.05  |           |
| 88AKSI   | 0.25  | 14.60 |          |          | 25.00    | 29.85 | 7.30  |      | 125.62  | 12.80      | 382.23  | 93.48   | 227.52  | 2698.30 | 2925.82  |           |
| AAAKSI   | 30.00 | 0.25  |          |          | 25.00    | 15.00 | 14.45 |      | 186.60  | 19.02      | 285.32  | 274.86  | 1426.70 | 938.46  | 2365.16  |           |
| BBAKSI   | 30.00 | 0.25  |          |          | 25.00    | 15.00 | 8.95  |      | 216.65  | 22.08      | 331.27  | 197.66  | 1656.45 | 53.23   | 1709.67  |           |
| CCAKSI   | 30.00 | 0.25  |          |          | 25.00    | 15.00 | 5.65  |      | 235.80  | 24.04      | 360.55  | 135.81  | 1802.88 | 79.18   | 1882.06  |           |
| DDAKSI   | 30.00 | 0.25  |          |          | 25.00    | 15.00 | 0.15  |      | 186.60  | 19.02      | 285.32  | 2.85    | 1426.70 | 1011.32 | 2438.02  |           |
|          |       |       |          |          |          |       |       |      | SW      | SM         | SMXi    | SMYi    |         |         |          | SMMio+MD2 |
|          |       |       |          |          |          |       |       |      | 5626.94 | 573.59     | 8773.71 | 4255.43 |         |         |          | 56625.00  |
|          |       |       |          |          |          |       |       |      | Xc (m)  | 15.30      |         |         |         |         |          |           |
|          |       |       |          |          |          |       |       |      | Yc (m)  | 7.42       |         |         |         |         |          |           |

İkinci kat tavanında kiriş ve kolon boyutları birinci kat tavanı ile aynı olmasına rağmen, hareketli yükün ve kaplama malzemelerinin birinci kat tavanına göre farklı olması nedeni ile bu katın kütlesi aşağıdaki tabloda da görüldüğü gibi ayrıca bir daha hesaplanmıştır.

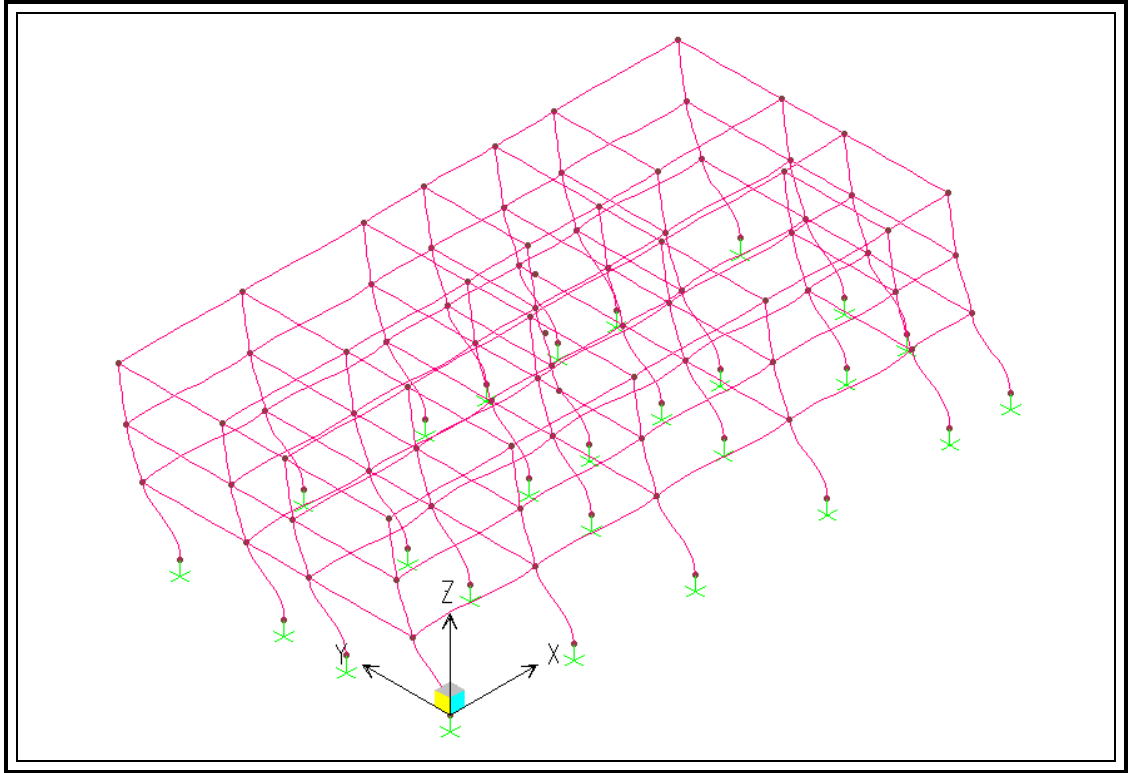
**Tablo 6.3 2.** Normal kat tavanı kat kütlesi,kütlesel atalet momenti ve ağırlık merkezi

|          | a(m)  | b(m)  | g(KN/m2) | q(KN/m2) | g (KN/m3) | x(m)  | y(m)  | h(m)  | Wi(KN) | Mi(KNs2/m) | MiXi   | MiYi   | MMio    | MD2       | MMio+MD2 |  |
|----------|-------|-------|----------|----------|-----------|-------|-------|-------|--------|------------|--------|--------|---------|-----------|----------|--|
| D101     | 6.55  | 5.50  | 5.24     | 2.00     | 25.00     | 3.35  | 11.70 | 0.15  | 232.00 | 23.65      | 79.23  | 276.70 | 144.17  | 3787.35   | 3931.52  |  |
| D102     | 6.45  | 5.50  | 5.24     | 2.00     | 25.00     | 9.93  | 11.70 | 0.15  | 228.46 | 23.29      | 231.14 | 272.47 | 139.44  | 1103.53   | 1242.97  |  |
| DD103    | 3.20  | 5.50  | 5.24     | 2.00     | 25.00     | 14.75 | 11.70 | 0.15  | 113.34 | 11.55      | 170.42 | 135.18 | 38.98   | 226.95    | 265.93   |  |
| SAHANLIK | 3.80  | 5.50  | 5.24     | 2.00     | 25.00     | 18.25 | 11.70 | 0.15  | 134.60 | 13.72      | 250.40 | 160.53 | 51.10   | 393.17    | 444.26   |  |
| DD104    | 3.10  | 5.50  | 5.24     | 2.00     | 25.00     | 21.70 | 11.70 | 0.15  | 109.80 | 11.19      | 242.89 | 130.96 | 37.18   | 688.56    | 725.74   |  |
| D1051    | 3.40  | 5.50  | 5.24     | 2.00     | 25.00     | 24.95 | 11.70 | 0.15  | 120.43 | 12.28      | 306.29 | 143.63 | 42.77   | 1402.53   | 1445.31  |  |
| D1052    | 3.20  | 5.50  | 5.24     | 2.00     | 25.00     | 28.25 | 11.70 | 0.15  | 113.34 | 11.55      | 326.40 | 135.18 | 38.98   | 2188.40   | 2227.39  |  |
| D106     | 6.55  | 3.30  | 5.24     | 2.00     | 25.00     | 3.35  | 7.30  | 0.15  | 139.20 | 14.19      | 47.54  | 103.58 | 63.61   | 1996.72   | 2060.33  |  |
| D107     | 6.45  | 3.30  | 5.24     | 2.00     | 25.00     | 9.93  | 7.30  | 0.15  | 137.08 | 13.97      | 138.68 | 102.00 | 61.12   | 390.64    | 451.76   |  |
| D1081    | 3.20  | 3.30  | 5.24     | 2.00     | 25.00     | 14.75 | 7.30  | 0.15  | 68.01  | 6.93       | 102.25 | 50.61  | 12.21   | 1.48      | 13.69    |  |
| D1082    | 3.80  | 3.30  | 5.24     | 2.00     | 25.00     | 18.25 | 7.30  | 0.15  | 80.76  | 8.23       | 150.24 | 60.09  | 17.38   | 75.96     | 93.34    |  |
| D1091    | 3.10  | 3.30  | 5.24     | 2.00     | 25.00     | 21.70 | 7.30  | 0.15  | 65.88  | 6.72       | 145.73 | 49.02  | 11.47   | 282.66    | 294.13   |  |
| D1092    | 3.40  | 3.30  | 5.24     | 2.00     | 25.00     | 24.95 | 7.30  | 0.15  | 72.26  | 7.37       | 183.77 | 53.77  | 13.78   | 698.42    | 712.20   |  |
| D1093    | 3.20  | 3.30  | 5.24     | 2.00     | 25.00     | 28.25 | 7.30  | 0.15  | 68.01  | 6.93       | 195.84 | 50.61  | 12.21   | 1178.36   | 1190.56  |  |
| D110     | 6.55  | 5.50  | 5.24     | 2.00     | 25.00     | 3.35  | 2.83  | 0.15  | 232.00 | 23.65      | 79.23  | 66.81  | 144.17  | 3799.81   | 3943.98  |  |
| D111     | 6.45  | 5.50  | 5.24     | 2.00     | 25.00     | 9.93  | 2.83  | 0.15  | 228.46 | 23.29      | 231.14 | 65.79  | 139.44  | 1115.80   | 1255.25  |  |
| D1121    | 3.20  | 5.50  | 5.24     | 2.00     | 25.00     | 14.75 | 2.83  | 0.15  | 113.34 | 11.55      | 170.42 | 32.64  | 38.98   | 233.04    | 272.02   |  |
| D1122    | 3.80  | 5.50  | 5.24     | 2.00     | 25.00     | 18.25 | 2.83  | 0.15  | 134.60 | 13.72      | 250.40 | 38.76  | 51.10   | 400.40    | 451.49   |  |
| D1131    | 3.10  | 5.50  | 5.24     | 2.00     | 25.00     | 21.70 | 2.83  | 0.15  | 109.80 | 11.19      | 242.89 | 31.62  | 37.18   | 694.46    | 731.64   |  |
| D1132    | 3.40  | 5.50  | 5.24     | 2.00     | 25.00     | 24.95 | 2.83  | 0.15  | 120.43 | 12.28      | 306.29 | 34.68  | 42.77   | 1409.00   | 1451.77  |  |
| D114     | 3.20  | 5.50  | 5.24     | 2.00     | 25.00     | 28.25 | 2.83  | 0.15  | 113.34 | 11.55      | 326.40 | 32.64  | 38.98   | 2194.49   | 2233.48  |  |
| S101     | 0.40  | 0.60  |          |          |           | 25.00 | 0.15  | 14.45 | 1.50   | 9.00       | 0.92   | 0.14   | 13.26   | 0.04      | 255.15   |  |
| S102     | 0.40  | 0.60  |          |          |           | 25.00 | 6.70  | 14.45 | 1.50   | 9.00       | 0.92   | 6.15   | 13.26   | 0.04      | 113.48   |  |
| S103     | 0.65  | 0.35  |          |          |           | 25.00 | 13.15 | 14.45 | 1.50   | 8.53       | 0.87   | 11.44  | 12.57   | 0.04      | 48.25    |  |
| S104     | 0.40  | 0.60  |          |          |           | 25.00 | 16.35 | 14.45 | 1.50   | 9.00       | 0.92   | 15.00  | 13.26   | 0.04      | 48.19    |  |
| S105     | 0.40  | 0.60  |          |          |           | 25.00 | 20.15 | 14.45 | 1.50   | 9.00       | 0.92   | 18.49  | 13.26   | 0.04      | 69.37    |  |
| S106     | 0.65  | 0.35  |          |          |           | 25.00 | 23.25 | 14.45 | 1.50   | 8.53       | 0.87   | 20.22  | 12.57   | 0.04      | 100.74   |  |
| S107     | 0.35  | 0.60  |          |          |           | 25.00 | 29.85 | 14.45 | 1.50   | 7.88       | 0.80   | 23.96  | 11.60   | 0.03      | 213.13   |  |
| S108     | 0.40  | 0.60  |          |          |           | 25.00 | 0.15  | 8.95  | 1.50   | 9.00       | 0.92   | 0.14   | 8.21    | 0.04      | 210.66   |  |
| S109     | 0.40  | 0.60  |          |          |           | 25.00 | 6.70  | 8.95  | 1.50   | 9.00       | 0.92   | 6.15   | 8.21    | 0.04      | 69.00    |  |
| S110     | 0.65  | 0.35  |          |          |           | 25.00 | 13.15 | 8.95  | 1.50   | 8.53       | 0.87   | 11.44  | 7.78    | 0.04      | 6.09     |  |
| S111     | 0.35  | 0.60  |          |          |           | 25.00 | 16.35 | 8.95  | 1.50   | 7.88       | 0.80   | 13.13  | 7.18    | 0.03      | 3.25     |  |
| S112     | 0.35  | 0.60  |          |          |           | 25.00 | 20.15 | 8.95  | 1.50   | 7.88       | 0.80   | 16.18  | 7.18    | 0.03      | 21.78    |  |
| S113     | 0.65  | 0.40  |          |          |           | 25.00 | 23.25 | 8.95  | 1.50   | 9.75       | 0.99   | 23.11  | 8.90    | 0.05      | 66.99    |  |
| S114     | 0.40  | 0.65  |          |          |           | 25.00 | 29.85 | 8.95  | 1.50   | 9.75       | 0.99   | 29.67  | 8.90    | 0.05      | 215.68   |  |
| S115     | 0.35  | 0.60  |          |          |           | 25.00 | 0.15  | 5.65  | 1.50   | 7.88       | 0.80   | 0.12   | 4.54    | 0.03      | 184.29   |  |
| S116     | 0.70  | 0.35  |          |          |           | 25.00 | 6.70  | 5.65  | 1.50   | 9.19       | 0.94   | 6.27   | 5.29    | 0.05      | 70.39    |  |
| S117     | 0.70  | 0.40  |          |          |           | 25.00 | 13.15 | 5.65  | 1.50   | 10.50      | 1.07   | 14.07  | 6.05    | 0.06      | 7.44     |  |
| S118     | 0.70  | 0.40  |          |          |           | 25.00 | 20.15 | 5.65  | 1.50   | 10.50      | 1.07   | 21.57  | 6.05    | 0.06      | 28.98    |  |
| S119     | 0.70  | 0.40  |          |          |           | 25.00 | 26.65 | 5.65  | 1.50   | 10.50      | 1.07   | 28.52  | 6.05    | 0.06      | 142.91   |  |
| S120     | 0.40  | 0.60  |          |          |           | 25.00 | 29.85 | 5.65  | 1.50   | 9.00       | 0.92   | 27.39  | 5.18    | 0.04      | 199.04   |  |
| S121     | 0.35  | 0.60  |          |          |           | 25.00 | 0.15  | 0.15  | 1.50   | 7.88       | 0.80   | 0.12   | 0.12    | 0.03      | 223.07   |  |
| S122     | 0.40  | 0.65  |          |          |           | 25.00 | 6.70  | 0.15  | 1.50   | 9.75       | 0.99   | 6.66   | 0.15    | 0.05      | 122.72   |  |
| S123     | 0.40  | 0.65  |          |          |           | 25.00 | 13.15 | 0.15  | 1.50   | 9.75       | 0.99   | 13.07  | 0.15    | 0.05      | 54.93    |  |
| S124     | 0.40  | 0.65  |          |          |           | 25.00 | 20.15 | 0.15  | 1.50   | 9.75       | 0.99   | 20.03  | 0.15    | 0.05      | 74.93    |  |
| S125     | 0.70  | 0.40  |          |          |           | 25.00 | 26.65 | 0.15  | 1.50   | 10.50      | 1.07   | 28.52  | 0.16    | 0.06      | 194.62   |  |
| S126     | 0.35  | 0.60  |          |          |           | 25.00 | 29.85 | 0.15  | 1.50   | 7.88       | 0.80   | 23.96  | 0.12    | 0.03      | 212.95   |  |
| 11AKSI   | 0.25  | 14.60 |          |          |           | 25.00 | 0.15  | 7.30  |        | 90.81      | 9.26   | 1.39   | 67.58   | 164.48    | 2100.21  |  |
| 22AKSI   | 0.25  | 14.60 |          |          |           | 25.00 | 6.70  | 7.30  |        | 43.02      | 4.39   | 29.38  | 32.01   | 77.92     | 317.76   |  |
| 33AKSI   | 0.25  | 14.60 |          |          |           | 25.00 | 13.15 | 7.30  |        | 43.02      | 4.39   | 57.67  | 32.01   | 77.92     | 18.65    |  |
| 44AKSI   | 0.25  | 14.60 |          |          |           | 25.00 | 16.35 | 11.70 |        | 15.51      | 1.58   | 25.85  | 18.50   | 28.09     | 32.76    |  |
| 55AKSI   | 0.25  | 14.60 |          |          |           | 25.00 | 20.15 | 7.30  |        | 43.02      | 4.39   | 88.36  | 32.01   | 77.92     | 106.91   |  |
| 66AKSI   | 0.25  | 14.60 |          |          |           | 25.00 | 23.25 | 11.70 |        | 15.51      | 1.58   | 36.76  | 18.50   | 28.09     | 132.86   |  |
| 77AKSI   | 0.25  | 14.60 |          |          |           | 25.00 | 26.65 | 2.83  |        | 15.51      | 1.58   | 42.13  | 4.47    | 28.09     | 238.38   |  |
| 88AKSI   | 0.25  | 14.60 |          |          |           | 25.00 | 29.85 | 7.30  |        | 90.81      | 9.26   | 276.32 | 67.58   | 164.48    | 1983.42  |  |
| AAAKSI   | 30.00 | 0.25  |          |          |           | 25.00 | 15.00 | 14.45 |        | 186.60     | 19.02  | 285.32 | 274.86  | 1426.70   | 975.41   |  |
| BBAKSI   | 30.00 | 0.25  |          |          |           | 25.00 | 15.00 | 8.95  |        | 84.60      | 8.62   | 129.36 | 77.18   | 646.83    | 24.09    |  |
| CCAKSI   | 30.00 | 0.25  |          |          |           | 25.00 | 15.00 | 5.65  |        | 84.60      | 8.62   | 129.36 | 48.72   | 646.83    | 23.65    |  |
| DDAKSI   | 30.00 | 0.25  |          |          |           | 25.00 | 15.00 | 0.15  |        | 186.60     | 19.02  | 285.32 | 2.85    | 1426.70   | 971.16   |  |
|          |       |       |          |          |           |       |       |       |        | SW         | SM     | SMXi   | SMYi    | SMMio+MD2 |          |  |
|          |       |       |          |          |           |       |       |       |        | 3870.53    |        | 394.55 | 5950.27 | 2883.68   | 40117.17 |  |
|          |       |       |          |          |           |       |       |       |        | Xc (m)     | 15.08  |        |         |           |          |  |
|          |       |       |          |          |           |       |       |       |        | Yc (m)     | 7.31   |        |         |           |          |  |

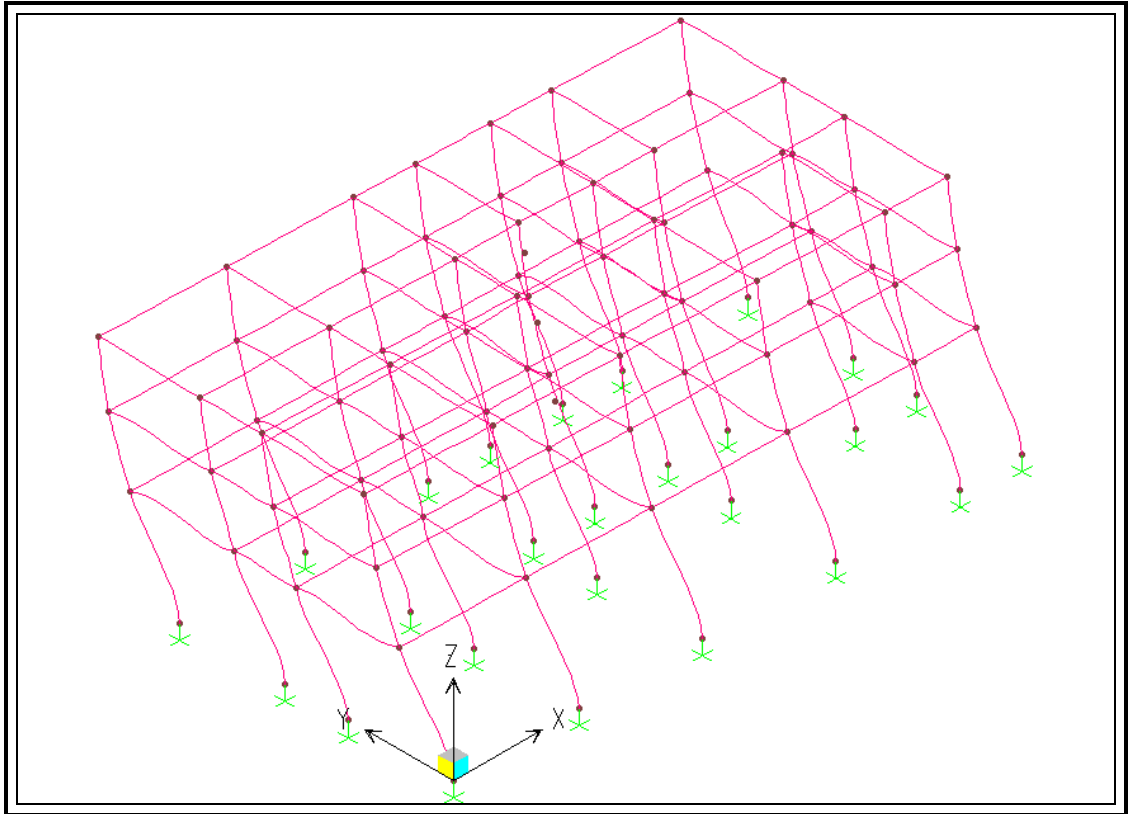
## 6.2 Yapıya Ait Modal Analiz Sonuçları

**Tablo 6.4** Yapıya ait modal analiz sonuçları

|                     | <b>T<sub>IX</sub>=0.4032 sn</b> | <b>T<sub>IY</sub>=0. 3936 sn</b> |
|---------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Kat No              | <b>Φ<sub>Xi</sub></b>           | <b>Φ<sub>Yi</sub></b>            |
| 2.Normal Kat Tavanı | 0,03074                         | 0,03091                          |
| 1.Normal Kat Tavanı | 0,02678                         | 0,02674                          |
| Zemin Kat Tavanı    | 0,01913                         | 0,01883                          |



Şekil 6.4 1.Mod şekli  $T_x=0,4032\text{sn}$



Şekil 6.5 2.Mod şekli  $T_y=0,3936\text{sn}$



### 6.3 Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemiyle Yatay Yüklere Hesabı

#### 6.3.1 Yapının X ve Y Yönü İçin Yatay Yüğe Hesabı

$$W = \sum_{i=1}^N w_i$$

$$W=w_1+w_2+w_3$$

$$W=5714,83+5626,94+3870,53$$

$$W=15212,3 \text{ kN}$$

$$S_x=1/|(0.8+T-T_0)|=1/|(0.8+0.4032-0.6)|=1.657>1$$

$$S_x=1$$

$$C_0=0.1, K=0.8, I=1.5$$

$$C=C_0 \cdot K \cdot S \cdot I=0.1 \cdot 0.8 \cdot 1 \cdot 1.5$$

$$C=0.12$$

$$F=C \cdot W=0.12 \cdot 15212,3$$

$$F=1825,476 \text{ kN (X ve Y yönü için aynı } S_x=S_y=1)$$

$$F_i = (V_t - \Delta F_i) \cdot \frac{w_i \cdot H_i}{\sum (w_i \cdot H_i)}$$

Bu durumda katlara gelen kuvvetler ve %5 eksantrisiteden kaynaklanan burulma momentleri aşağıdaki tabloda verilmiştir:

**Tablo 6.5** Yapının X ve Y yönlerinde katlara gelen eşdeğer deprem yükleri ve burulma momentleri

| Wi (kN) | Vt (kN) | Hi (m) | X (m) | Y (m) | Fkat (kN) | MZY (kNm) | MZX (kNm) |
|---------|---------|--------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|
| 5714,83 | 1825,48 | 4,50   | 30,00 | 14,60 | 432,44    | 648,66    | 315,68    |
| 5626,94 | 1825,48 | 7,50   | 30,00 | 14,60 | 709,65    | 1064,47   | 518,04    |
| 3870,53 | 1825,48 | 10,50  | 30,00 | 14,60 | 683,39    | 1025,09   | 498,87    |

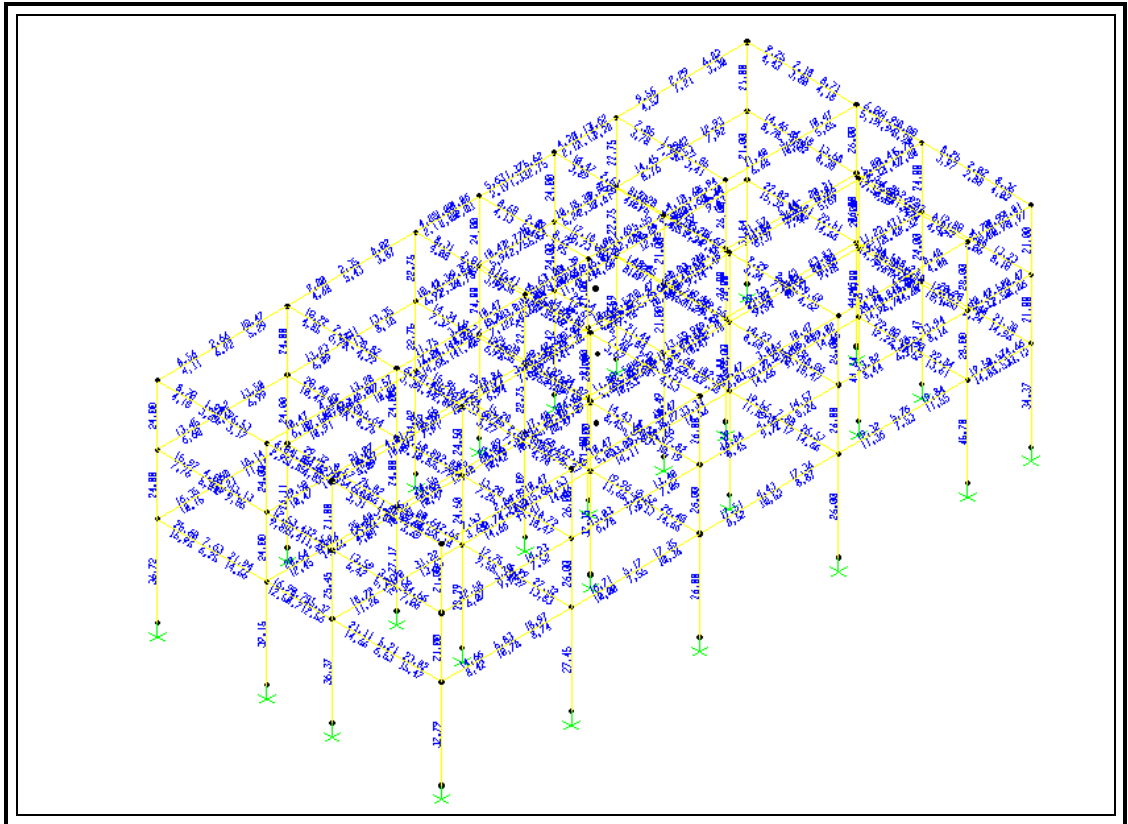
#### 6.4 Yapının Betonarme Tasarımı:

**Tablo 6.6** Tasarıma Esas olan Kombinasyonlar:

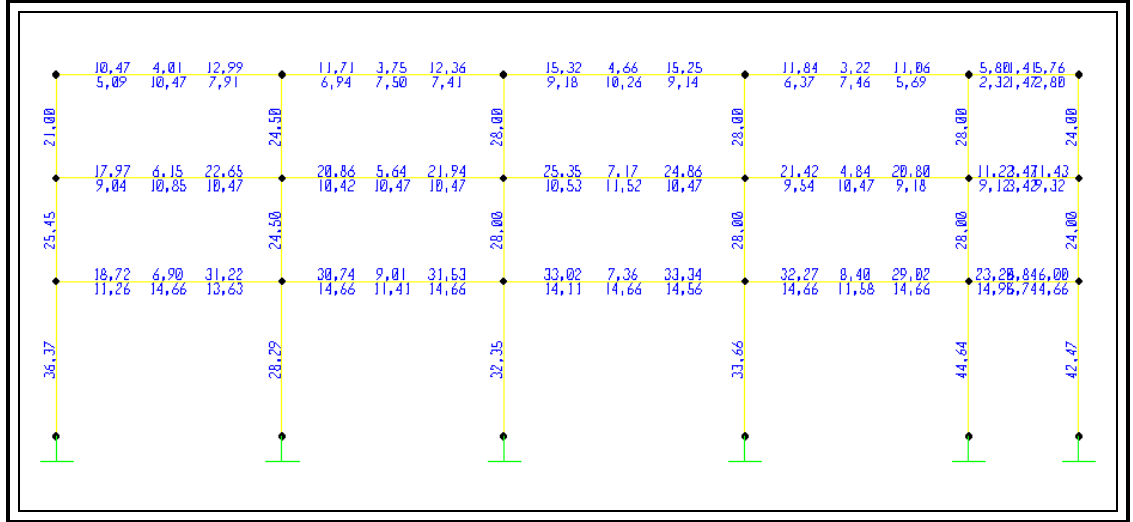
|   | X Yönü  | Y yönü  |
|---|---------|---------|
| 1 | G+Q+Ex  | G+Q+Ey  |
| 2 | G+Q-Ex  | G+Q-Ey  |
| 3 | 0.9G+Ex | 0.9G+Ey |
| 4 | 0.9G-Ex | 0.9G-Ey |

##### 6.4.1 Betonarme Tasarım Sonuçları:

Aşağıda betonarme tasarım sonuçlarına göre elemanlara ait donatı miktarları görülmektedir.



**Şekil 6.6** Yapı Elemanlarına Ait Donatılar



**Şekil 6.7** XZ Düzlemi Y=5,5m de bulunan çerçeveye ait donatı miktarları

Seçilen donatılar, kolon , kiriş boyutları ve elemanlara ait karşılıklı etki diagramları ile P-M değerleri EK-C de verilmiştir.

### 6.5 Yapının Performansının Belirlenmesi:

Bu kısımda yapının X ve Y yönlerine ait performansı belirlenecektir. Yapılan kabuller ve yapılan işlemler aşağıda belirtilmiştir:

- Beton kalitesi BS 7 dir.
- $\epsilon_{cu}=0.003$
- $\epsilon_{su}=0.05$
- Kolon ve kirişlere ait kesitler çatlamış kesit olarak ele alınmıştır. Bu nedenle tablalı kiriş kesit eylemsizlik momenti brüt kesit eylemsizlik momentinin 0.35 katı, kolonlarda ise bu değer brüt kesit eylemsizlik momentinin 0.70 katı alınmıştır.
- Yeni kesit rijitliklerine göre tekrar modal analiz yapılmıştır.
- Kolon ve kirişlere ilgili plastik mafsallık özellikleri atanmıştır.

- Moment eğrilik ilişkisi elastoplastik kabul edilmiş akma sonrası rijitlik 0 alınmıştır.
- Modal pushover seçeneği kullanılarak ilgili yönlere ait kapasite eğrileri elde edilmiştir.

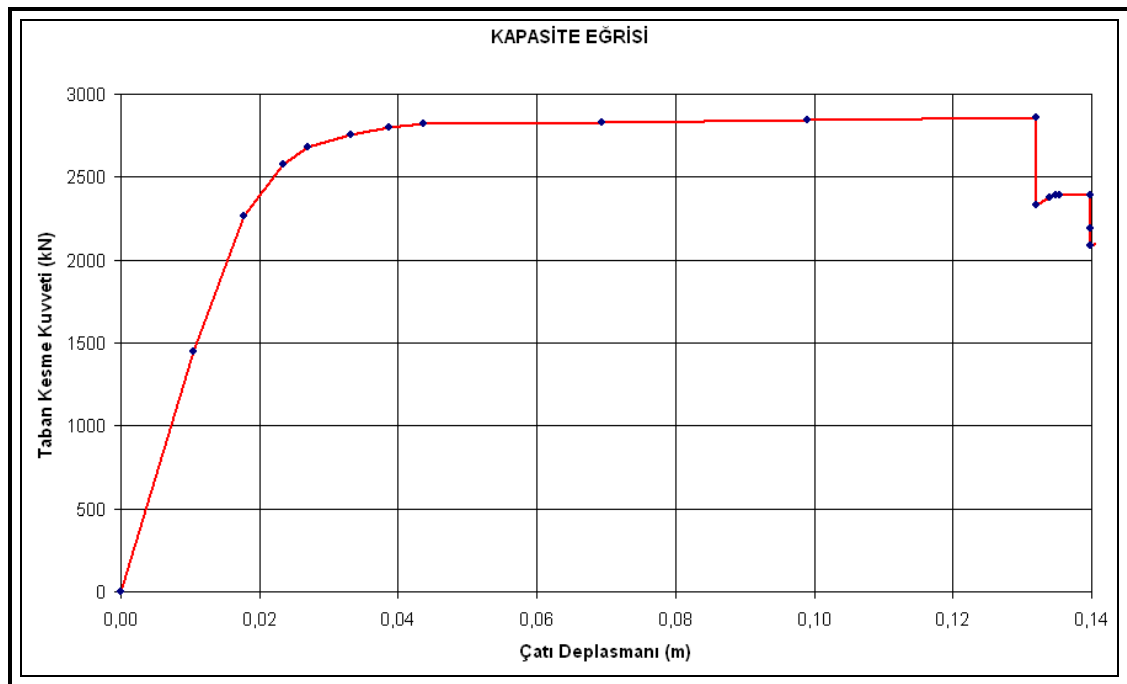
Çatlamış kesitler dikkate alınarak yapılan Modal analiz sonuçlarına göre periyotlar:

$T_{1x}=0,5891\text{sn}$  ve  $T_{1y}=0,5812\text{sn}$  olmuştur.

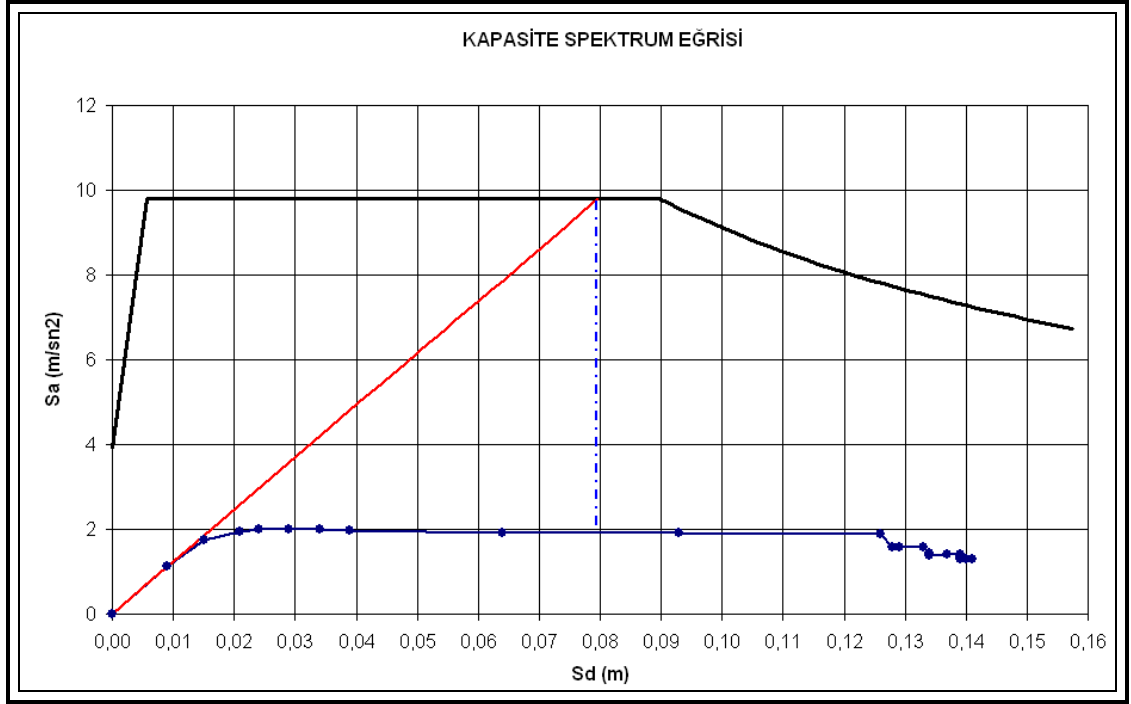
### 6.5.1 Yapının X yönüne ait Performansın Belirlenmesi:

Bu kısımda, Eşit Deplasman Kuralına göre, kapasite spektrum metoduna göre ve deplasman katsayılarına göre yapının performansı elde edilecektir.

#### 6.5.1.1 Eşit Deplasman Kuralına göre Performansın Belirlenmesi:



Şekil 6.8 X Yönüne ait Kapasite Eğrisi



**Şekil 6.9** X Yönünde Eşit Deplasman Kuralına göre performans noktasının bulunuşu

Eşit Deplasman Kuralına göre yapıya ait performans noktasının spektral koordinat değerleri:

$$(S_a; S_d) = (0,195g; 0,079m)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{\text{çatı}}}{\Gamma_1 \phi_{N1}}$$

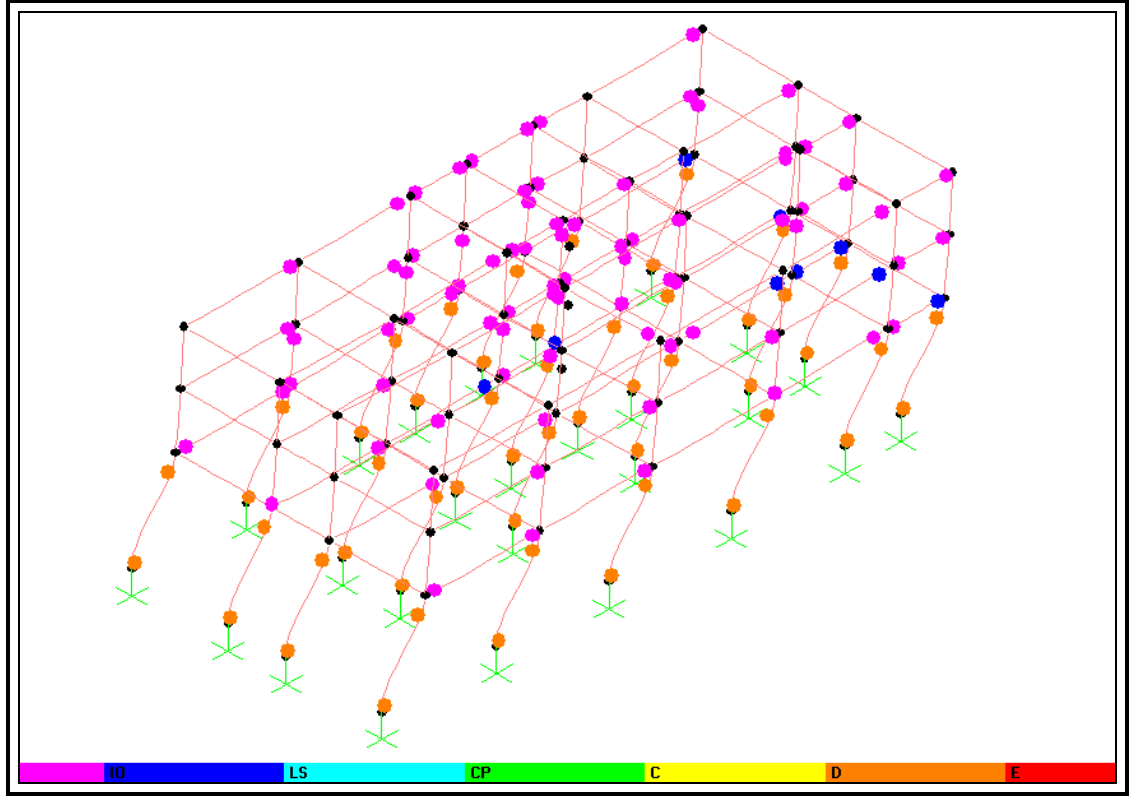
Buradan çatı deplasmanı;

$$0,079 = \Delta_{\text{çatı}} / (38,204 * 0,03193) \Rightarrow \Delta_{\text{çatı}} = 0,0964m$$

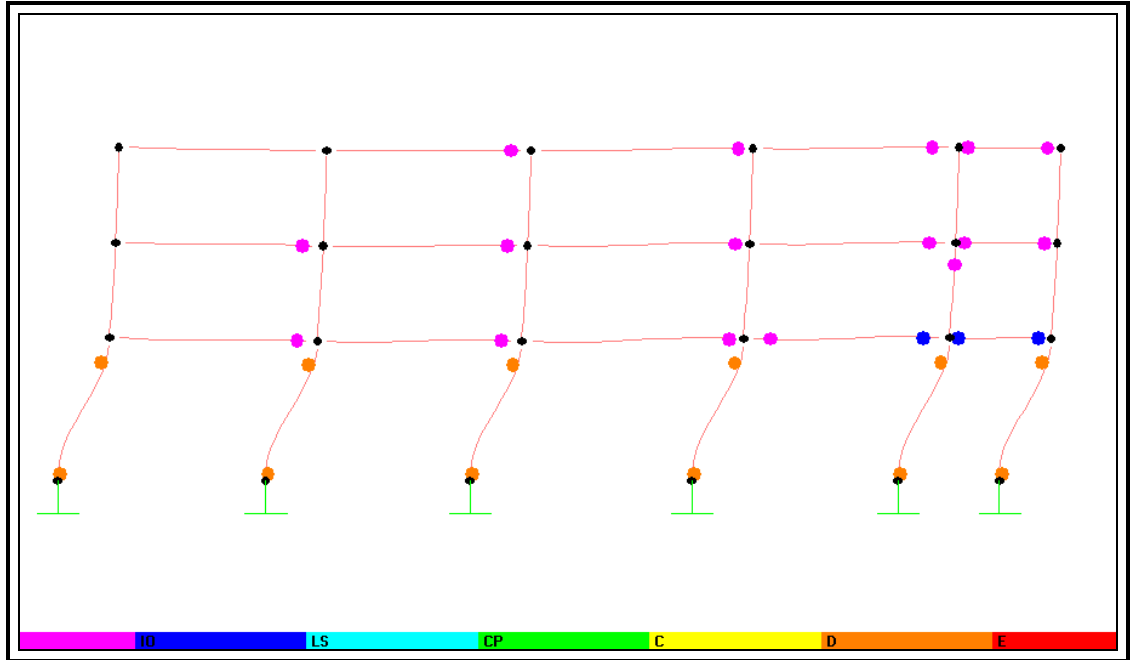
Eğer yapı 9,64cm çekilirse buna karşılık performans durumundaki plastik mafsalları ve taban kesme kuvveti bulunabilir.

Bu durumda taban kesme kuvveti ve çatı deplasmanı;

$$(V; D) = (2843,2859kN; 0,0964m)$$



**Şekil 6.10** X Yönünde Eşit Deplasman Kuralına göre performans durumunda plastik mafsalların yeri ve performans durumları



**Şekil 6.11** XZ Düzlemi Y=5,5m de bulunan çerçevede Eşit Deplasman Kuralına göre performans durumunda plastik mafsalların yerleri ve performans seviyeleri

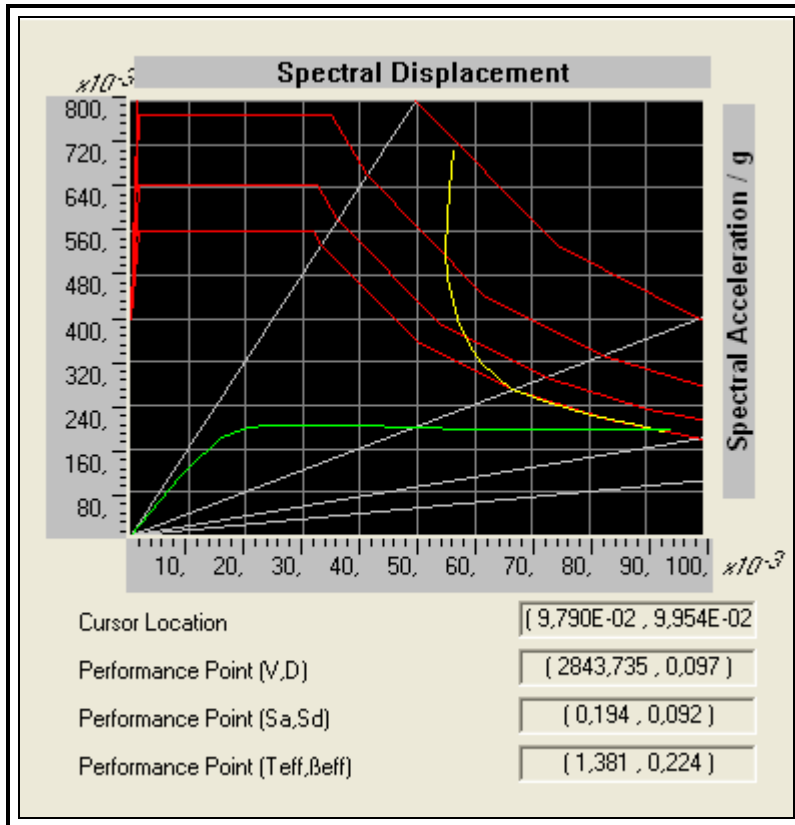
Analiz sonuçlarına göre, sistemin Eşit Deplasman Kuralına göre X yönündeki göçme yükü  $V_{göçme}=2843,2859\text{kN}$  ve göçme anındaki nihai deplasman  $\Delta_{çati}=0,0964\text{ m}$  olarak bulunmuştur. Sistemde oluşan plastik mafsalların 80'i hemen kullanım seviyesinde (B-IO), 9'u hasar kontrol aralığında (IO-LS), ve 52 tanesi de C performans seviyesini aşmış durumdadır.

#### 6.5.1.2 Kapasite Spektrumu Yöntemi ile performans noktasının bulunması (ATC-40)

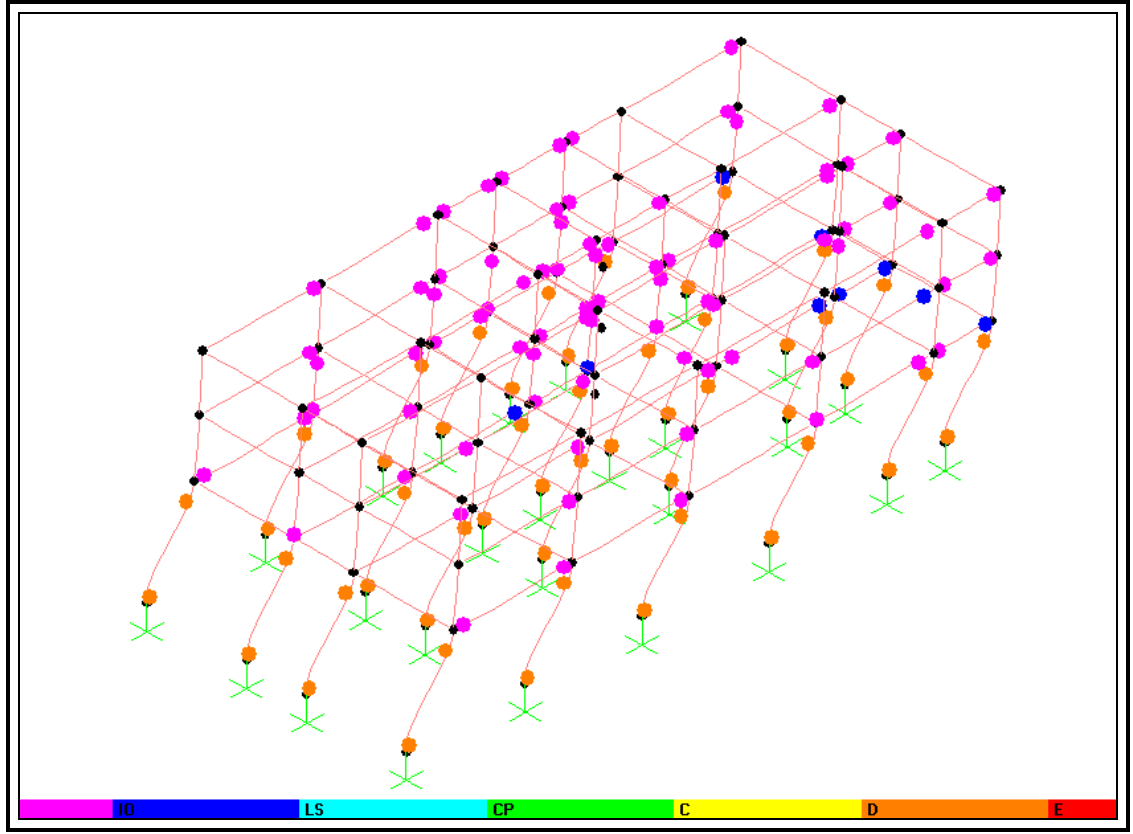
Kapasite spektrum yöntemine göre performans noktasının hesaplanması direkt olarak SAP2000 programına yaptırılmıştır. Buna göre performans noktasına ait değerler;

$$(S_a;S_d) = (0,194\text{g};0,092\text{m})$$

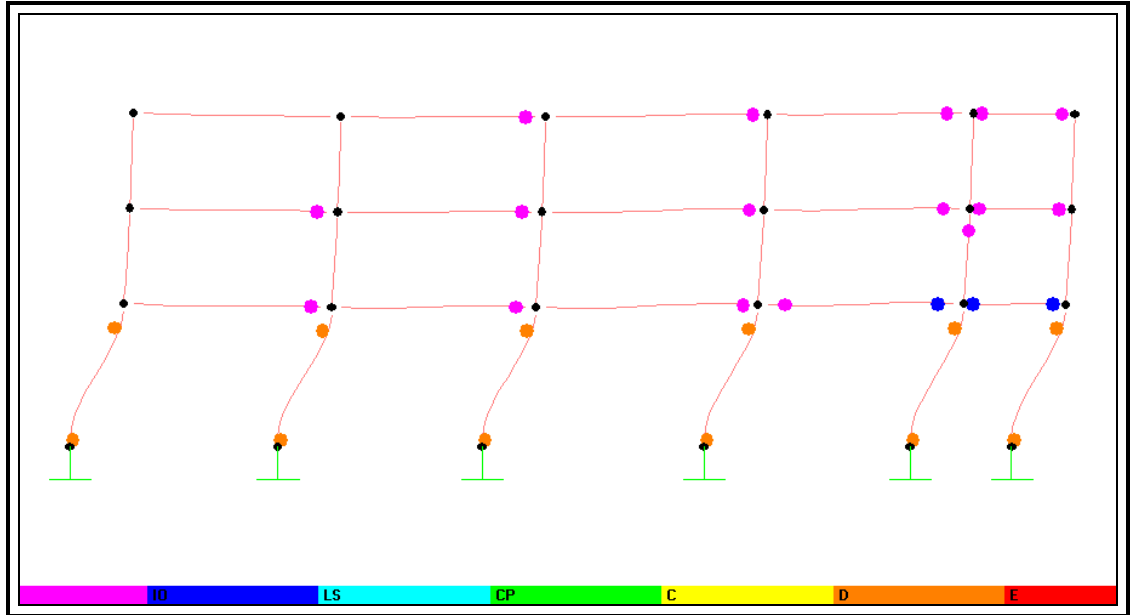
$$(V;D) = (2843,735\text{kN}; 0,097\text{m}) \text{ bulunmuştur.}$$



**Şekil 6.12** Kapasite Spektrumu Metoduna göre performans noktasının bulunması



**Şekil 6.13** Kapasite Spektrumu Metoduna göre performans noktasında plastik mafsalların yerleri ve performans seviyeleri



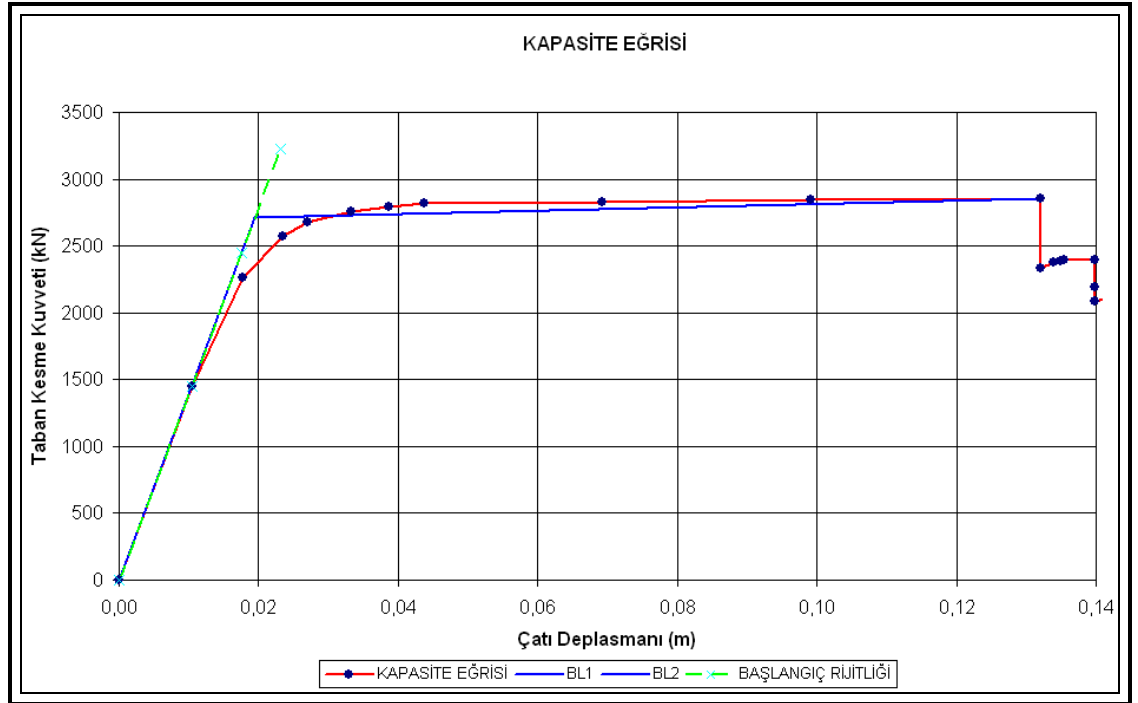
**Şekil 6.14** XZ Düzlemi Y=5,5m de bulunan çerçevede Kapasite Spektrum Metoduna göre performans durumunda plastik mafsalların yerleri ve performans seviyeleri



Analiz sonuçlarına göre, sistemin Kapasite Spektrum Metoduna göre X yönündeki göçme yükü  $V_{göçme}=2843,735$  kN ve göçme anındaki nihai deplasman  $\Delta_{çatı}=0,097$  m olarak bulunmuştur. Sistemde oluşan plastik mafsalların 80'i hemen kullanım seviyesinde (B-IO), 9'u hasar kontrol aralığında (IO-LS) ve 52 tanesi de C performans seviyesini aşmış durumdadır.

### 6.5.1.3 Deplasman Katsayıları Yöntemi ile Hedef Deplasmanın bulunması:

Kapasite eğrisinin kırıklı hale getirilmesi ve akma taban kesme kuvvetinin bulunuşu aşağıda gösterilmiştir.



**Şekil 6.15** Deplasman Katsayıları Metoduna göre kapasite eğrisinin kırıklı hale getirilmesi ve akma taban kesme kuvvetinin bulunuşu

$$K_i=K_e \text{ ve } V_y=2710 \text{ kN}$$

$$T_e=T_i=0,5891 \text{ sn}$$

$$C_o=PF*\phi_{çatı}=38,204*0,03193\Rightarrow C_o=1,22$$

$$T_e<T_b=0,6 \text{ sn bu durumda } C_1=[1,0+(R-1)*T_s/T_e]/R$$

$$R= S_a*C_m/(V_y/W) =1*0,8196/(2710/15212,3)$$

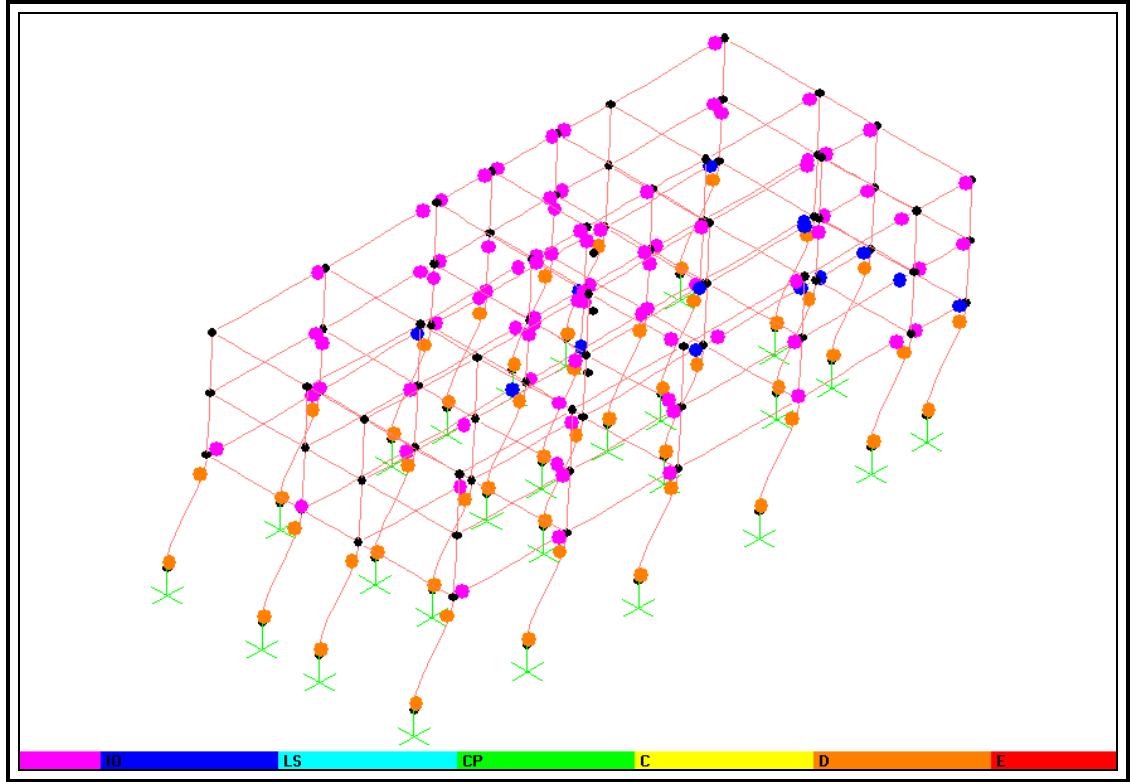
$$R=4,6$$

$$C_1=[1,0+(4,6-1)*0,6/0,5891]/4,6=1,014$$

$$C_2=1,2 \text{ (Collapse Prevention)}, C_3=1$$

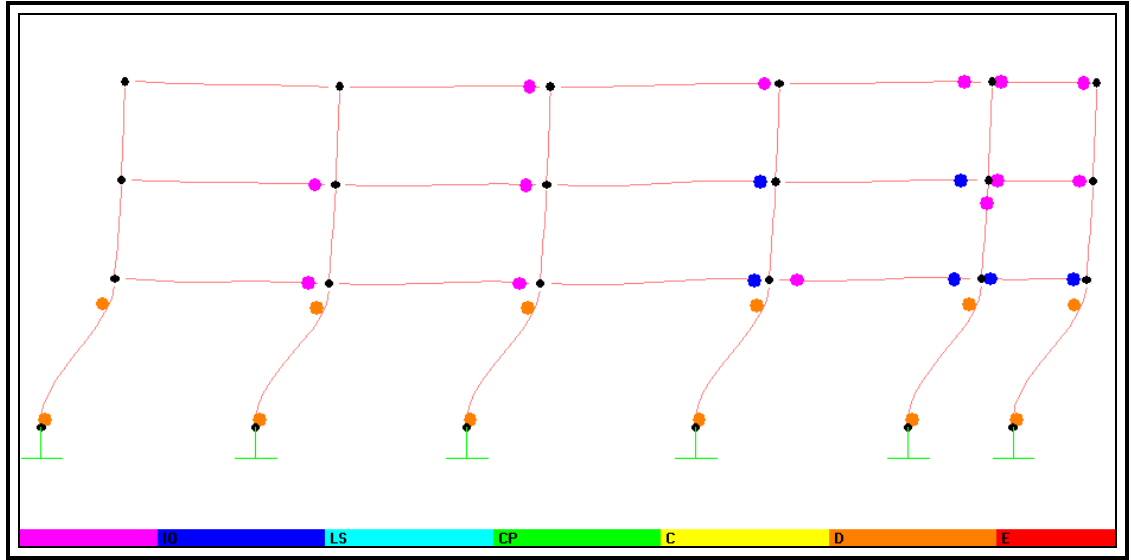
$$\delta_t=1,22*1,014*1,2*1*9,81*[0,5891*0,5891/(4*\pi^2)]$$

$$\delta_t=0,128\text{m} ; V=2855,3501\text{kN}$$



**Şekil 6.16** Deplasman Katsayıları Metoduna göre hedef deplasmana ulaşıldığında plastik mafsalların yerleri ve performans seviyeleri

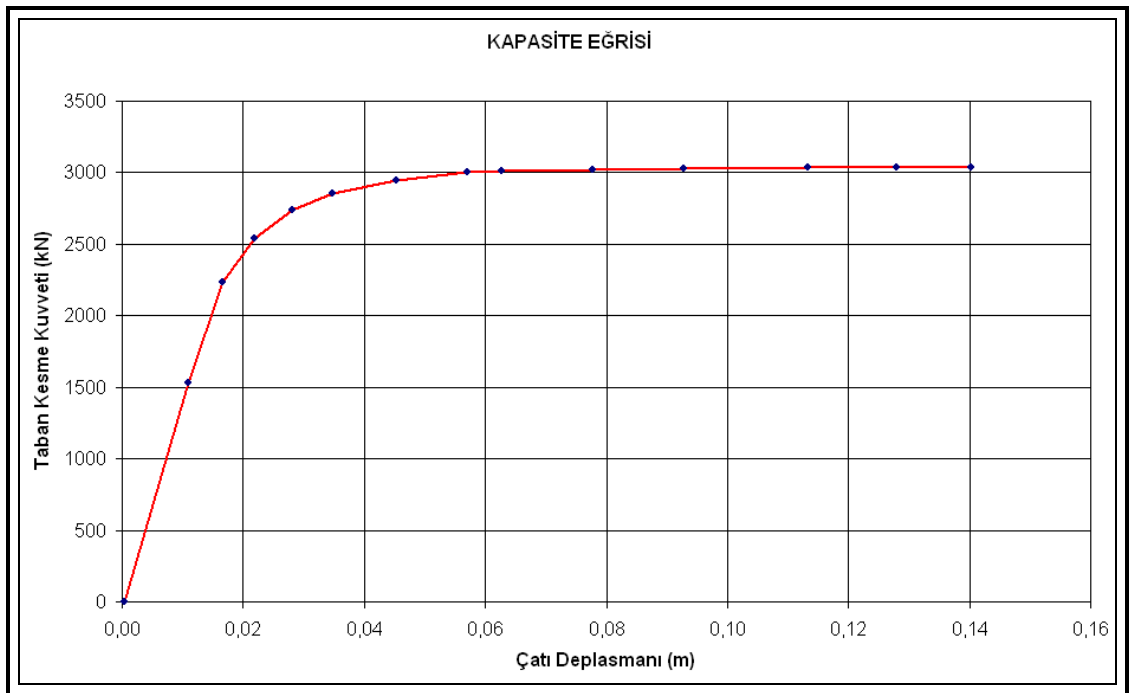
Analiz sonuçlarına göre, sistemin Deplasman Katsayıları Metoduna göre X yönündeki göçme yükü  $V_{göçme}=2855,35$  kN ve göçme anındaki nihai deplasman  $\Delta_{çatı}=0,128$  m olarak bulunmuştur. Sistemde oluşan plastik mafsalların 83'ü hemen kullanım seviyesinde (B-IO), 14'ü hasar kontrol aralığında (IO-LS) ve 52 tanesi de C performans seviyesini aşmış durumdadır.



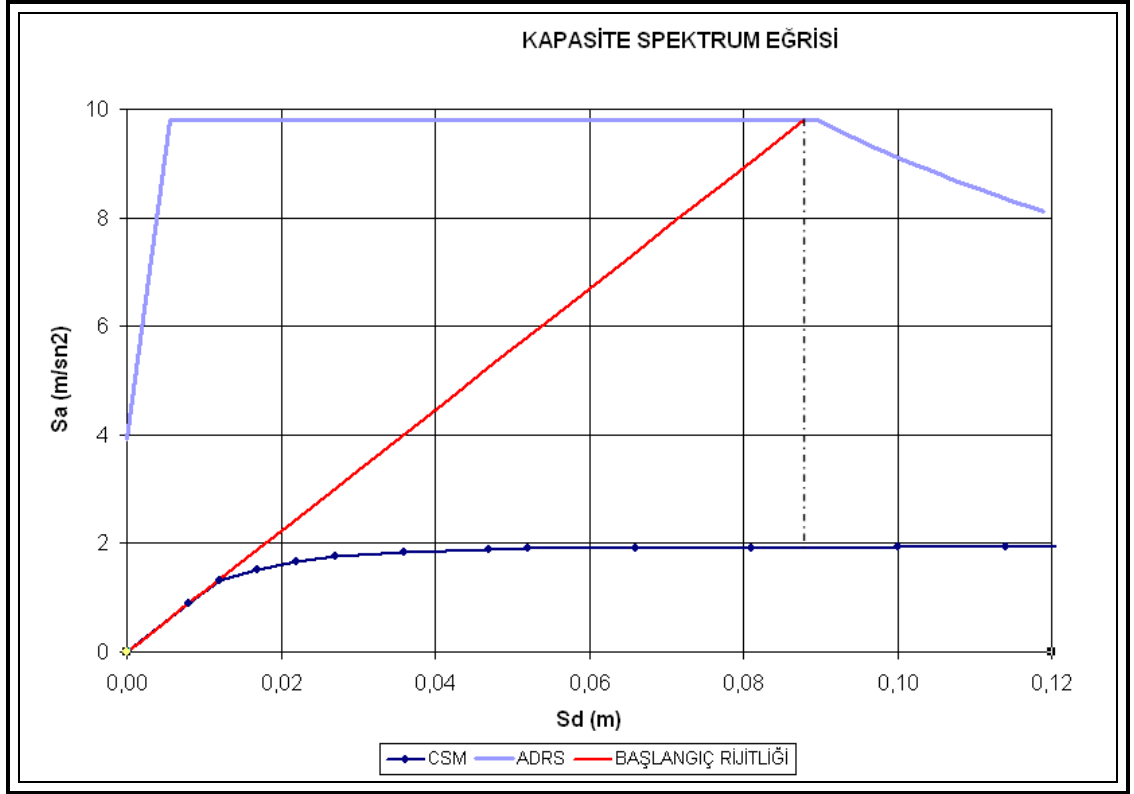
Şekil 6.17 XZ Düzlemi Y=5,5m de bulunan çerçevede hedef deplasmana ulaşıldığında plastik mafsalların yerleri ve performans seviyeleri

## 6.5.2 Yapının Y yönüne ait Performansın Belirlenmesi:

### 6.5.2.1 Eşit Deplasman Kuralına göre Performansın Belirlenmesi:



Şekil 6.18 Yapının Y yönüne ait kapasite eğrisi



**Şekil 6.19** Y Yönünde Eşit Deplasman Kuralına göre performans noktasının bulunuşu

Eşit Deplasman Kuralına göre yapıya ait performans noktasının spektral koordinat değerleri:

$$(S_a; S_d) = (0,1965g; 0,0879m)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{\text{çatı}}}{\Gamma_1 \phi_{N1}}$$

Buradan çatı deplasmanı;

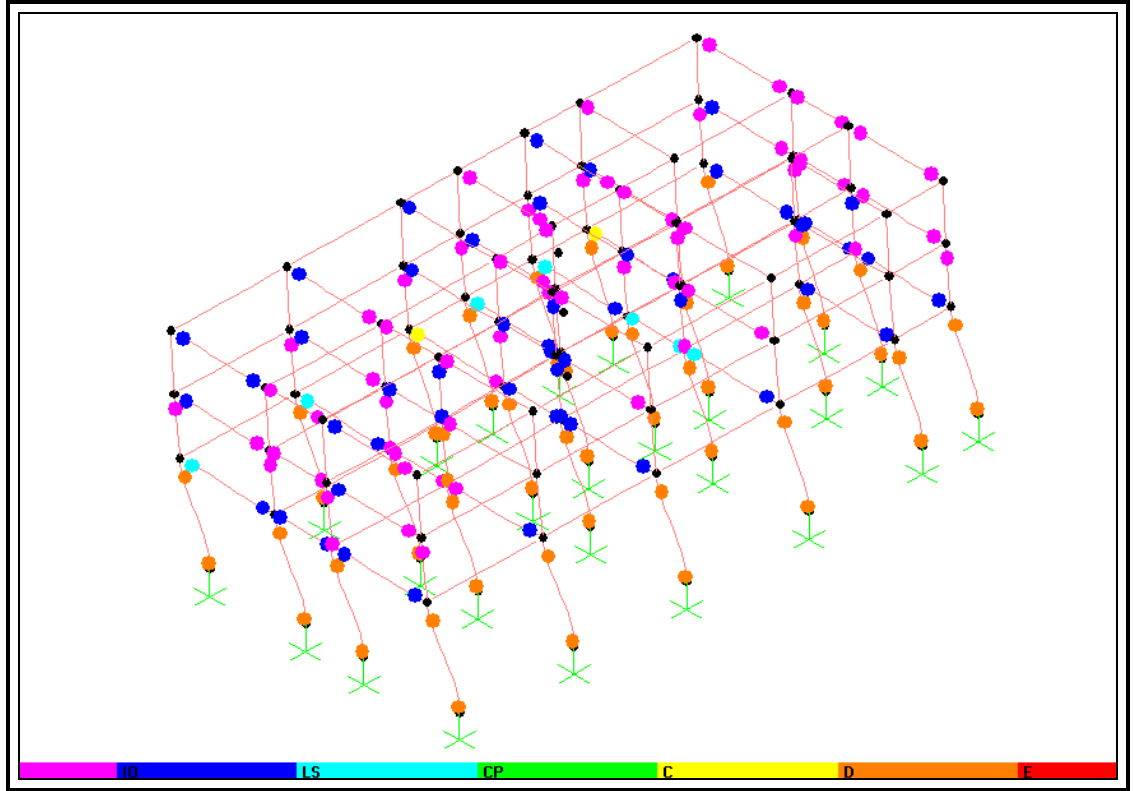
$$0,0879 = \Delta_{\text{çatı}} / (38,108 * 0,03198)$$

$$\Delta_{\text{çatı}} = 0,107m$$

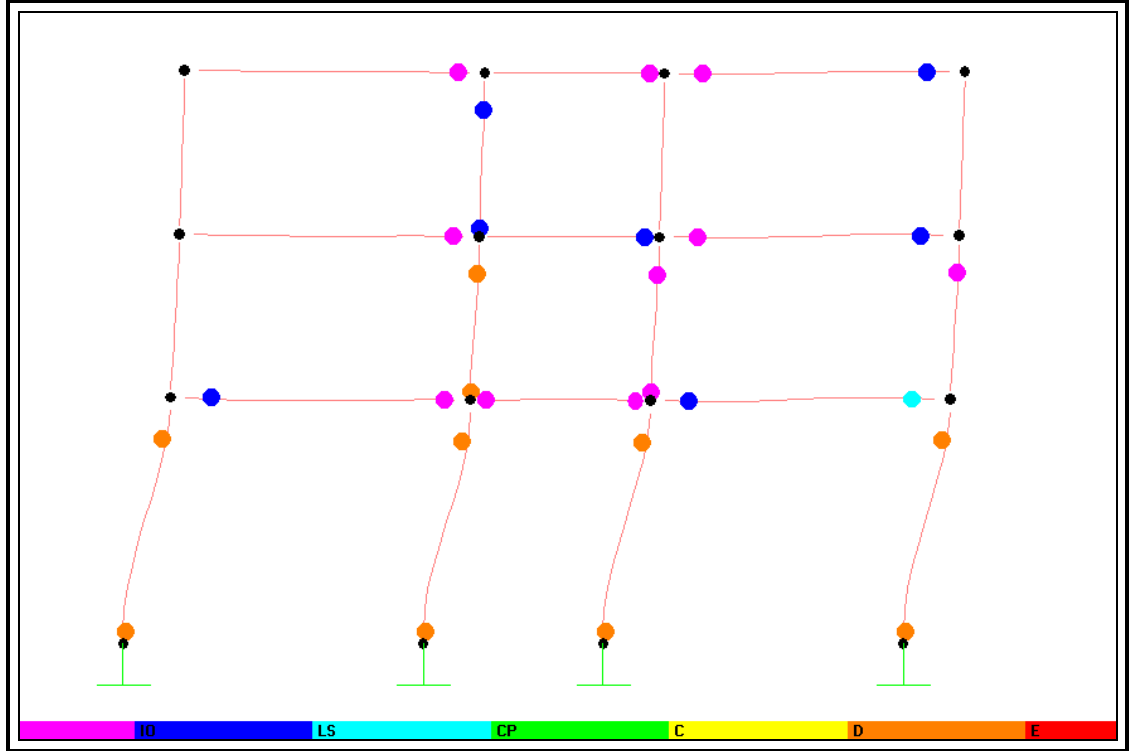
Eğer yapı 10,7cm çekilirse buna karşılık performans durumundaki plastik mafsalları ve taban kesme kuvveti bulunabilir.

Bu durumda taban kesme kuvveti ve çatı deplasmanı;

$$(V; D) = (3030,5015kN; 0,107m)$$



Şekil 6.20 Y Yönünde Eşit Deplasman Kuralına göre performans durumunda plastik mafsalların yerleri ve performans seviyeleri



Şekil 6.21 Y Yönünde X=6,55m bulunan çerçevede plastik mafsalların durumları

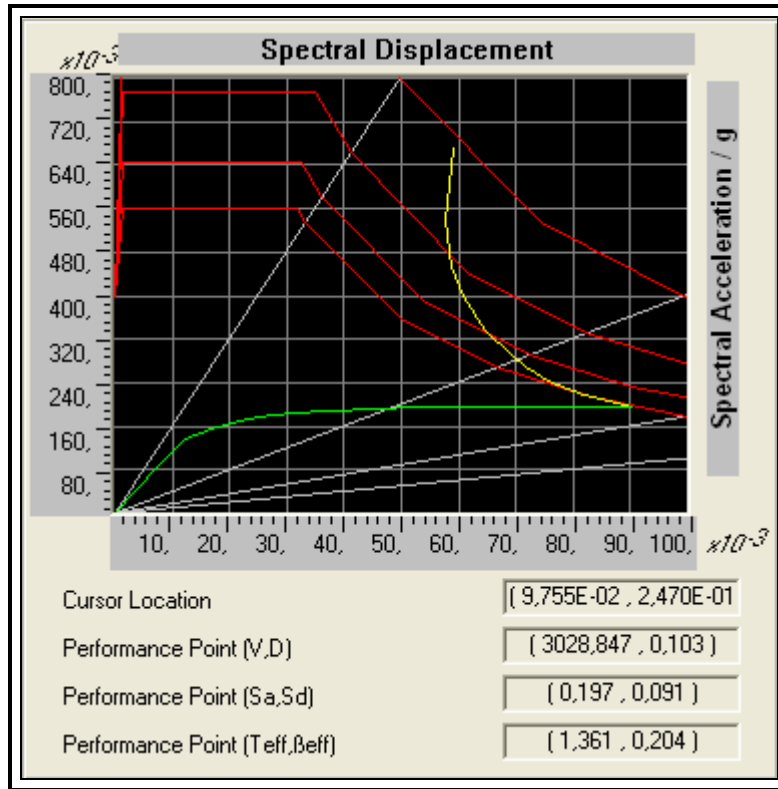
Analiz sonuçlarına göre, sistemin Eşit Deplasman kuralına göre Y yönündeki göçme yükü  $V_{göçme}=3030,5015\text{kN}$  ve göçme anındaki nihai deplasman  $\Delta_{çatı}=0,107\text{ m}$  olarak bulunmuştur. Sistemde oluşan plastik mafsalların 65'i hemen kullanım seviyesinde (B-IO), 50'si hasar kontrol aralığında (IO-LS), 7 tanesi sınırlı güvenlik aralığında (LS-CP) ve 56 tanesi de C performans seviyesini aşmış durumdadır.

#### 6.5.2.2 Kapasite Spektrumu Yöntemi ile performans noktasının bulunması (ATC-40)

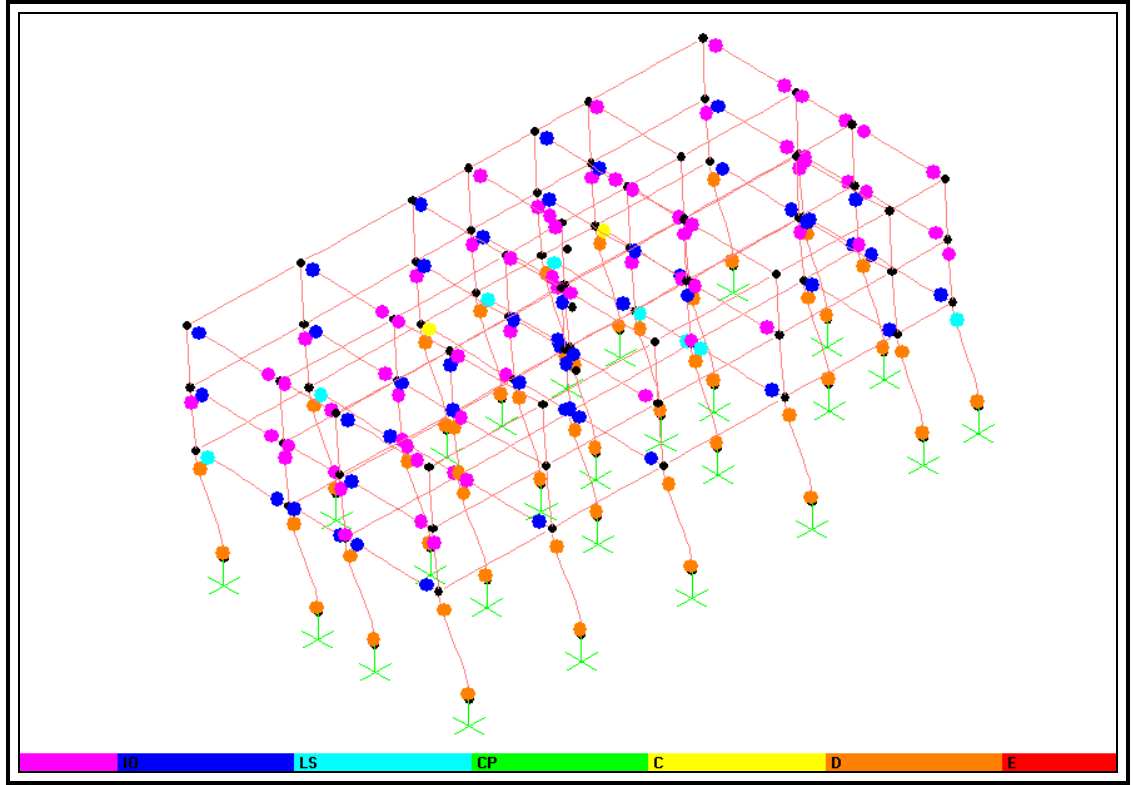
Kapasite spektrum yöntemine göre performans noktasının hesaplanması direkt olarak SAP2000 programına yaptırılmıştır. Buna göre performans noktasına ait değerler;

$$(S_a;S_d) = (0,197\text{g};0,091\text{m})$$

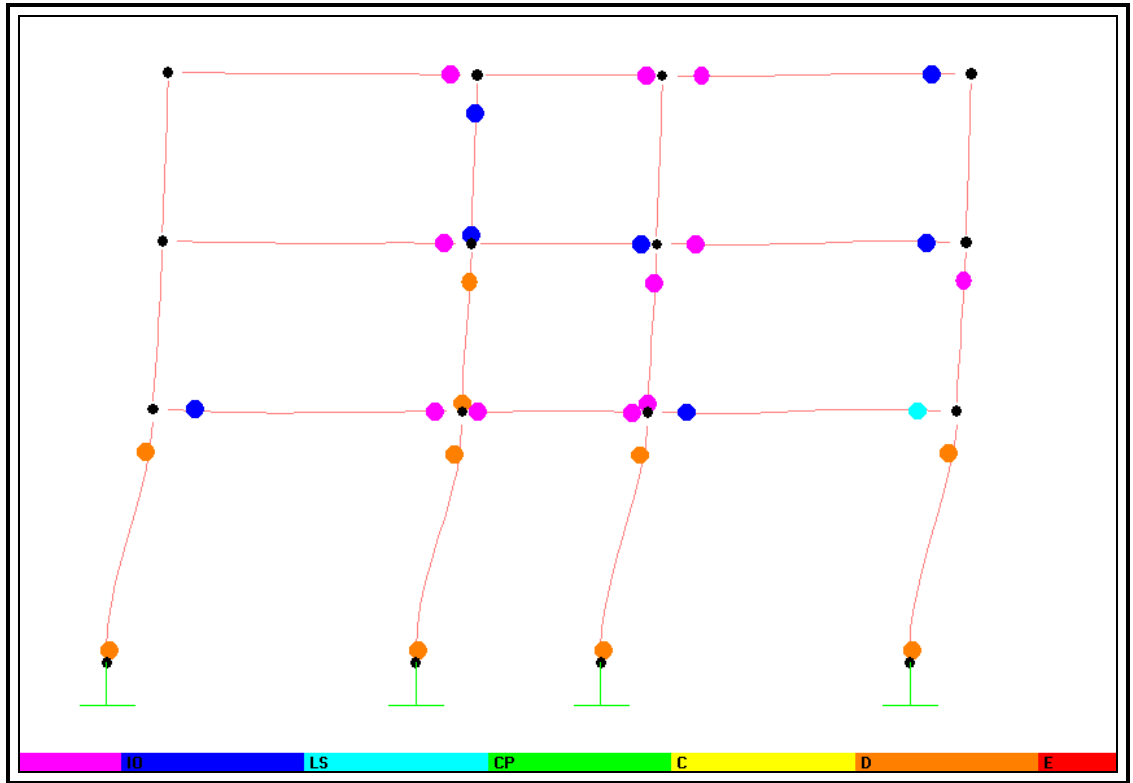
$$(V;D) = (3028,847\text{kN}; 0,103\text{m}) \text{ bulunmuştur.}$$



Şekil 6.22 Kapasite Spektrumu Metoduna göre performans noktasının bulunması



**Şekil 6.23** Kapasite Spektrumu Metoduna göre performans noktasında plastik mafsalların yerleri ve performans seviyeleri

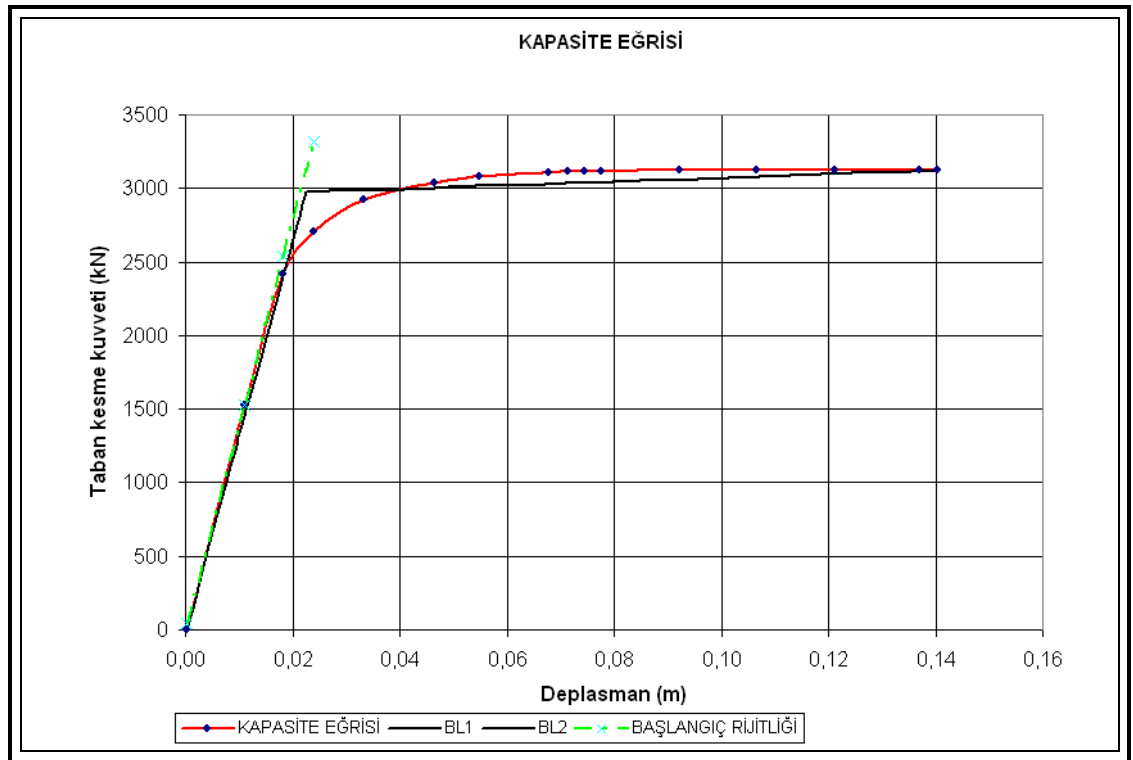


**Şekil 6.24** Y Yönünde  $X=6,55m$  bulunan çerçevede plastik mafsalların durumları

Analiz sonuçlarına göre, sistemin Kapasite Spektrum Metoduna göre Y yönündeki göçme yükü  $V_{göçme}=3028,847\text{kN}$  ve göçme anındaki nihai deplasman  $\Delta_{çatı}=0,103\text{ m}$  olarak bulunmuştur. Sistemde oluşan plastik mafsalların 66'sı hemen kullanım seviyesinde (B-IO), 49'u hasar kontrol aralığında (IO-LS), 8 tanesi sınırlı güvenlik aralığında (LS-CP) ve 55 tanesi de C performans seviyesini aşmış durumdadır.

### 6.5.2.3 Deplasman Katsayıları Yöntemi ile Hedef Deplasmanın bulunması:

Kapasite eğrisinin kırıklı hale getirilmesi ve akma taban kesme kuvvetinin bulunuşu aşağıda gösterilmiştir:



**Şekil 6.25** Deplasman Katsayıları Metoduna göre kapasite eğrisinin kırıklı hale getirilmesi ve akma taban kesme kuvvetinin bulunuşu

$K_i=138858,9\text{ kN/m}$  ,  $K_e=133802,49\text{ kN/m}$  ve  $V_y=2876,753\text{kN}$

$T_i=0,5812\text{sn}$

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}}$$

Bu durumda efektif periyot;

$T_e=0,59208\text{ sn}$  bulunur.



$$C_o = PF * \phi_{\text{çatı}} = 38,108 * 0,03198 \Rightarrow C_o = 1,218$$

$$T_e < T_b = 0,6 \text{ sn bu durumda } C_1 = [1,0 + (R-1) * T_s / T_e] / R$$

$$R = S_a * C_m / (V_y / W) = 1 * 0,821 / (2876,753 / 15212,3)$$

$$R = 4,34 \Rightarrow C_1 = [1,0 + (4,34 - 1) * 0,6 / 0,59208] / 4,34$$

$$C_1 = 1,01$$

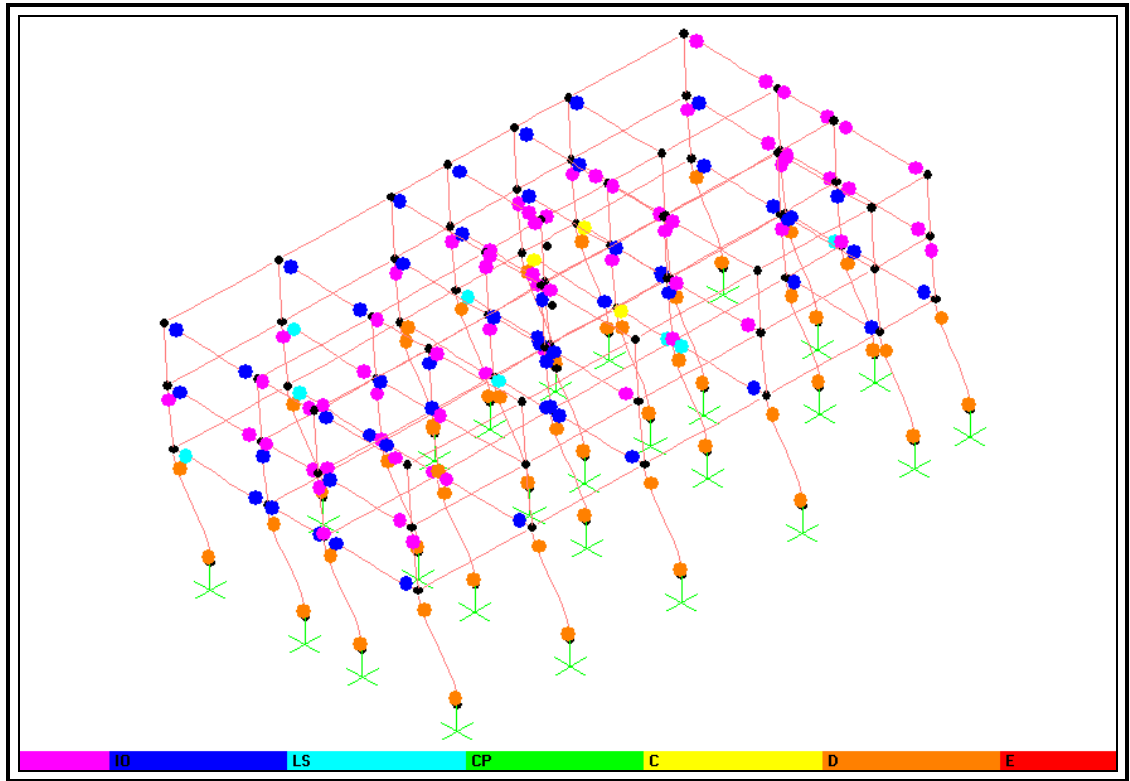
$$C_2 = 1,2 \text{ (Collapse prevention) ve } C_3 = 1 \text{ (pozitif akma sonrası rijitlik)}$$

$$\delta_t = 1,218 * 1,01 * 1,2 * 1 * 9,81 * [0,59208 * 0,59208 / (4 * \pi^2)]$$

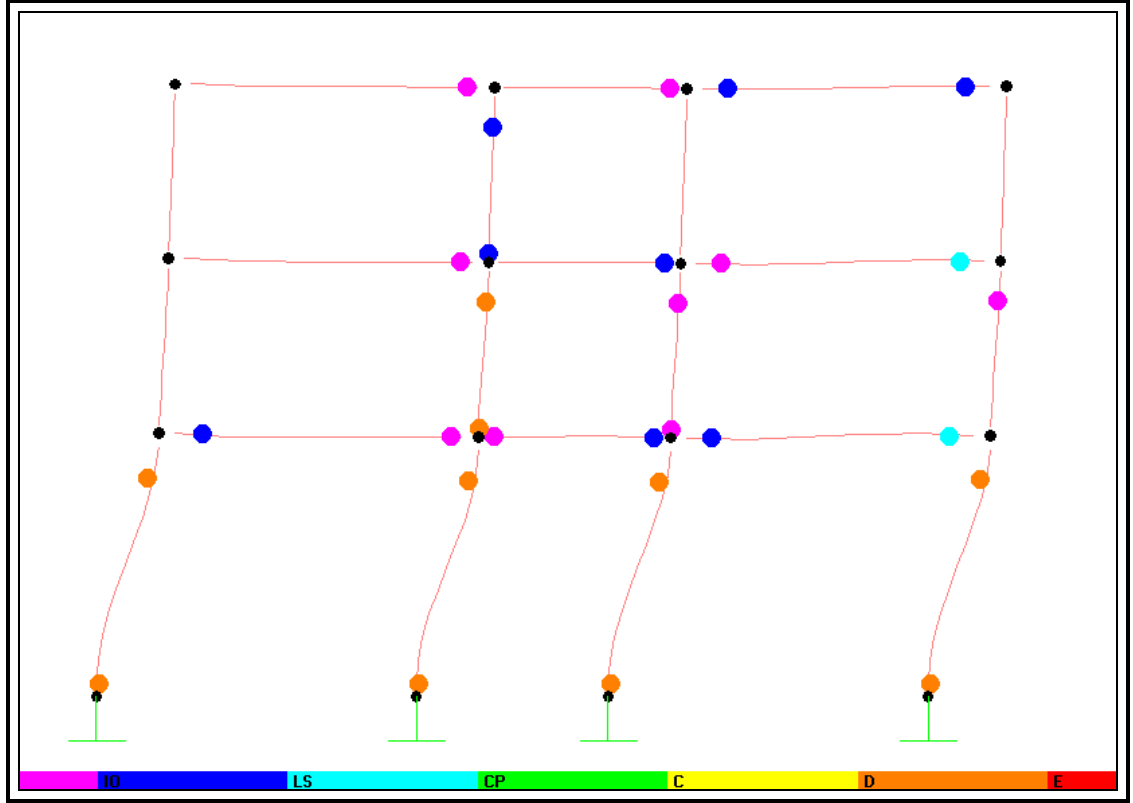
$$\delta_t = 0,1287 \text{ m bulunur.}$$

Bu durumda hedef deplasmana ulaşıldığında ;

$$(V;D) = (3037,5547 \text{ kN}; 0,1287 \text{ m})$$



**Şekil 6.26** Deplasman Katsayıları Metoduna göre hedef deplasmana ulaşıldığında plastik mafsalların yerleri ve performans seviyeleri

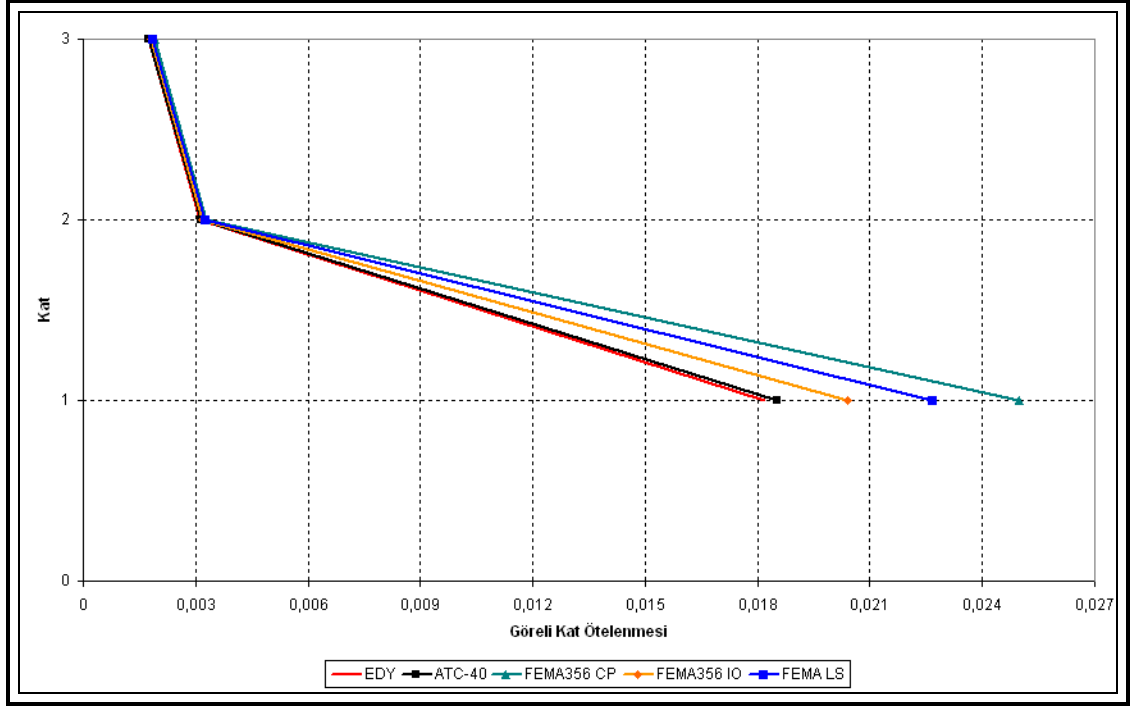


**Şekil 6.27** Y Yönünde X=6,55m bulunan çerçevede hedef deplasmana ulaşıldığında plastik mafsalların durumları

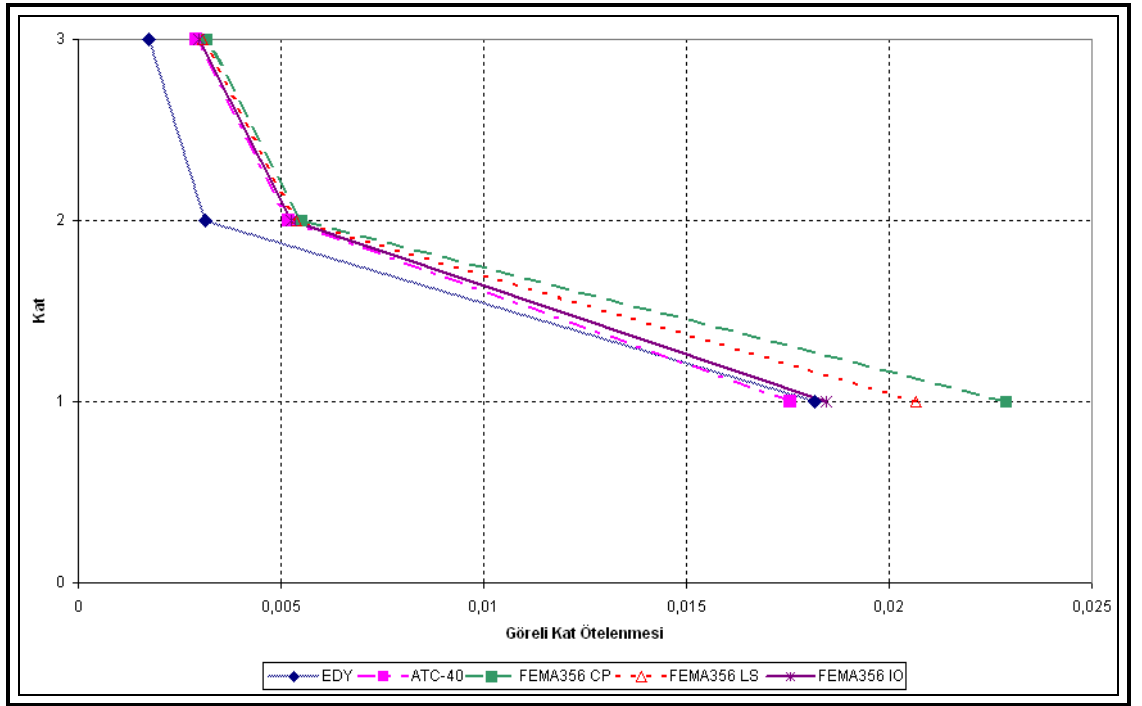
Analiz sonuçlarına göre, sistemin deplasman katsayıları metoduna göre Y yönündeki göçme yükü  $V_{göçme}=3037,55$  kN ve göçme anındaki nihai deplasman  $\Delta_{çatı}=0,1287$  m olarak bulunmuştur. Sistemde oluşan plastik mafsalların 65'i hemen kullanım seviyesinde (B-IO), 53'ü hasar kontrol aralığında (IO-LS), 8 tanesi sınırlı güvenlik aralığında (LS-CP) ve 58 tanesi de C performans seviyesini aşmış durumdadır.

**Tablo 6.7** Kullanılan Üç Yönteme göre X ve Y yönlerine ait Göçme Yüklerinin, Nihai Çatı Deplasmanlarının ve Yük Parametrelerinin Karşılaştırılması

| Yöntem adı: | X yönü     |                     |         | Y yönü     |                     |         |
|-------------|------------|---------------------|---------|------------|---------------------|---------|
|             | $V_t$ (kN) | $\Delta_{çatı}$ (m) | $V_t/W$ | $V_t$ (kN) | $\Delta_{çatı}$ (m) | $V_t/W$ |
| EDK         | 2843,285   | 0,0964              | 0,187   | 3030,5     | 0,107               | 0,1992  |
| CSM         | 2843,735   | 0,097               | 0,1877  | 3028,847   | 0,103               | 0,1991  |
| DKM         | 2855,35    | 0,128               | 0,188   | 3037,55    | 0,1287              | 0,1997  |



Şekil 6.28 X yönü görel kat ötelenmeleri



Şekil 6.29 Y yönü görel kat ötelenmeleri

## 7. SONUÇLAR:

Statik itme yöntemi ile bina tahkiki konulu bu yüksek lisans tez çalışmasında yapılanlar ve çıkarılan bazı sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- 1) Çalışmanın birinci bölümünde yapıların performansları, yapısal olan ve olmayan sistemlerin performans belirlemeleri ve bunlar ışığında yapının deprem öncesinde bulunduğu mevcut durum veya deprem sonrası bulunacağı durumun kullanılabilirliği ve eğer kullanılamaz ise kullanılabilir hale getirilebilmesi için hangi seviyelere taşınması gerektiği açıklanmıştır.
- 2) Mevcut yapıların performanslarının belirlenmesi için kullanılan yöntemler incelenmiş (Kapasite Spektrum Metodu, Deplasman Katsayıları Metodu, Eşit Deplasman Kuralı) bu yöntemlerin dayandığı temel varsayımlar üzerinde durulmuş ve bu yöntemlerin uygulanması sırasında gerekli işlem basamakları açıklanmıştır.
- 3) 5. Bölümde 1975 Yönetmeliğine göre yapılmış mevcut bir yapının performansının belirlenmesi üzerine bir uygulama yapılmıştır. 1975 yönetmeliğine göre yapılmış şekil olarak simetrik ancak taşıyıcı sistem olarak yetersiz bir yapı incelenmiştir. Yapının performansı 3 değişik yaklaşımla bulunmuş ve sonuçları karşılaştırılmıştır.
- 4) Yapılan analizde 100/20 boyutundaki kolonların (1975 yönetmeliğine göre perde kabul ediliyor) ataleti yüksek olan yönde sadece temel ile zemin kat arasında plastik mafsall oluşumu gözlenmiş diğer katlarda plastik mafsall oluşumu görülmemiştir. Bu perde elemanlarda plastik mafsallın sadece kritik perde yüksekliğinde oluştuğunu göstermektedir. Yapılan modellemelerde perdelerde sadece kritik perde yüksekliği içerisinde bir plastik mafsall tanımlamak çözüm esnasında kolaylık sağlayacak ve bir hataya neden olmayacaktır.

- 5) İncelenen yapıda 100/20 boyutundaki kolonlarda ataletin yüksek olduğu yönde mesnet bölgesinde plastik mafsal oluşumundan sonra yapı alttan basit mesnetli bir yapı gibi davranmış, bu kolonların üst katlarda plastik mafsal oluşumu göstermemesi nedeni ile, yapı yaklaşık olarak sabit bir eğilme rijitliği ile deplasman yapmaya devam etmiştir.
- 6) Kullanılan programlarda plastik mafsal özellikleri ancak çerçeve elemanlarına atanabilmektedir. Değişik geometrilere sahip perde elemanlarının (poligon perdeler gibi) tek bir çerçeve elemanı olarak tanımlanması ve perde elemanlarda oluşan plastik mafsal boyunun tam olarak belli olmayışı bu tip elemanlarda davranışın tanımlanması ile ilgili birtakım belirsizlikler oluşturmaktadır.
- 7) 6. Bölümde 1975 yönetmeliğine göre bir okul binası dizayn edilmiş daha sonra bu binanın düşük beton dayanımı ve yetersiz sargı donatısı altındaki performansı daha önce anlatılan üç yöntemle bulunmuştur. Çıkan sonuçlar tablolar halinde verilmiştir.
- 8) Yapılan analizlerde yapının her iki yönde de ilk katın mekanizma durumuna gelmesi ile bir göçme olduğu görülmüştür. İlk katın yüksekliğinin diğer katlardan yüksek olması bu katın diğer katlara göre yatay ötelenme rijitliğinin düşük olmasına neden olmakta diğer iki kat yaklaşık olarak rijit davranmaktadır. Yatay hareketin büyük bir kısmı ilk katta oluşmakta diğer iki katta rölatif yerdeğiştirmeler çok düşük düzeyde kalmakta ve neredeyse üst katlardaki kolonlarda hiçbir hasar gözlenmemektedir.
- 9) Bu tip binalarda her iki yöne yerleştirilecek rijit perdelerle yatay yükün büyük bir kısmı karşılanabilir ve kat mekanizması şeklinde bir göçme önlenabilir. Ayrıca bu incelenen binadaki dolgu duvarların etkisi ihmal edilmiştir ve bu duvarların ilk katın rijitliğine bir miktar katkıda bulunacağı açıktır. Ancak kullanılan programda nonlineer davranış sadece çerçeve elemanlarına atanabilmektedir ve bu elemanların davranışını modelleyebileceğimiz bir eleman bulunmamaktadır.
- 10) Performans noktalarının belirlenmesinde kullanılan üç yöntemin sonuçları birbirine yakın değerler vermektedir. Yöntemlerdeki değerlerin farklı çıkmasının sebepleri;

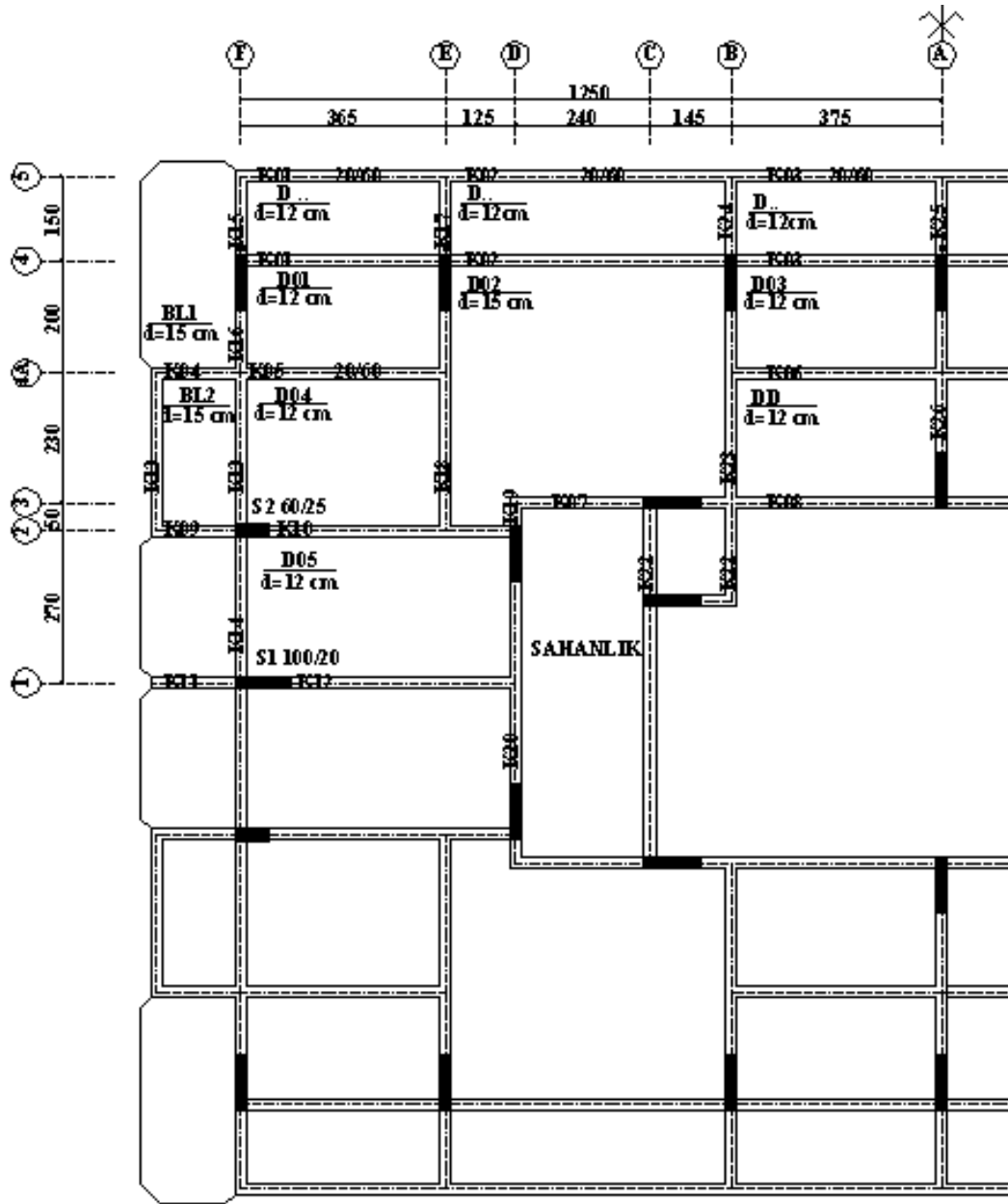
- ATC-40'ın önerdiği yöntemdeki efektif sönümün hesaplanması için kullanılan  $\kappa$  katsayısı ile deplasman katsayıları yöntemindeki  $C_2$  katsayısından kaynaklanan farklar.
- Eşit Deplasman Yaklaşımında başlangıç rijitliğinin talep spektrumunun sabit ivmenin bulunduğu noktaya gelmesi durumunda bulunan spektral deplasman değerinin gerçekte oluşan inelastik spektral deplasman değerinden küçük olması
- Ayrıca Deplasman Katsayıları Yönteminde efektif rijitliğin tespiti aşamasındaki birtakım belirsizlikler.

**11)** Bu veriler ışığında statik itme yönteminin yapının yatay yükler altındaki gerçek davranışını anlamamıza mevcut yapıların güvenliğinin artırılmasında veya yeni yapı için güvenlik seviyesinin saptanmasında önemli bir analiz yöntemi olduğu ve nonlinear time history yöntemine göre oldukça sade olduğu açıktır.

## KAYNAKLAR

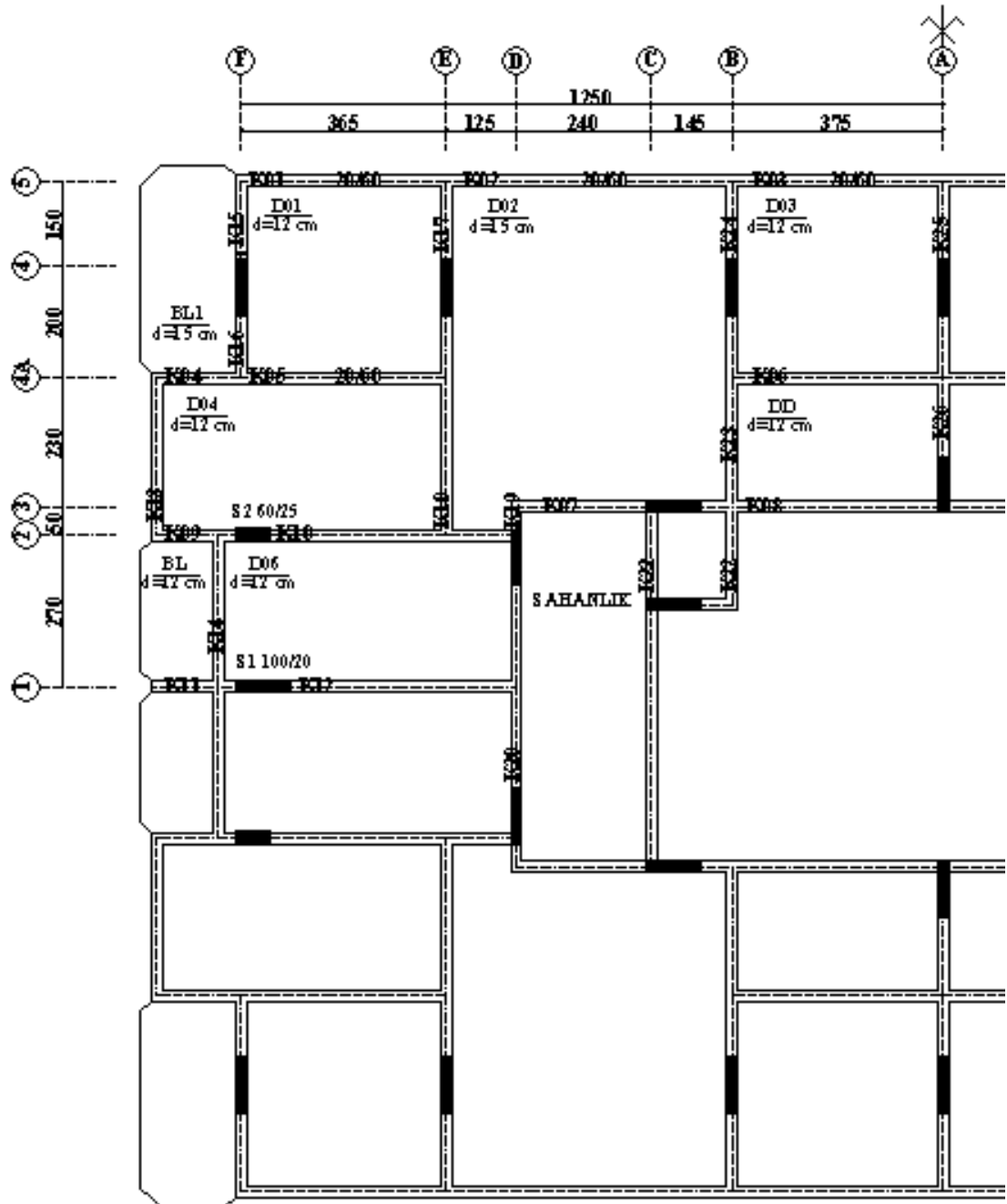
- [1] **Applied Technology Council, ATC-40.**, Kasım 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Cilt I, California/USA.
- [2] **Federal Emergency Management Agency, FEMA 273/356.**, 1996. Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Cilt I, California/USA.
- [3] **Celep, Z. ve Kumbasar, N.**, 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [4] **Celep, Z.**, 2001. Mevcut Betonarme Binaların Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi ve Güçlendirilmesinde Performans Kavramı, İ.M.O İstanbul Şubesi.
- [5] **TS-500**, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [6] **Girgin, K.**, 1996. Betonarme Yapı Sistemlerinde İkinci Mertebe Limit Yükün ve Göçme Güvenliğinin Belirlenmesi İçin Bir Yük Artım Yöntemi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] **TS-498**, 1997. Yapı Elemanların Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [8] **Celep, Z. ve Kumbasar, N.**, 2001. Yapı Dinamiği, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [9] **Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik**, 1998. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- [10] **Kasumov, A.**, 1998. Sonlu Elemanlar Metodu ile Yapı Statiği, Dinamiği, Plastik Analizi Uygulamaları, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [11] **SAP2000 NonLinear.**, Structural Analysis Program, Computers and Structures, Inc.
- [12] **Celep, Z. ve Kumbasar, N.**, 2001. Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul.

EK-A

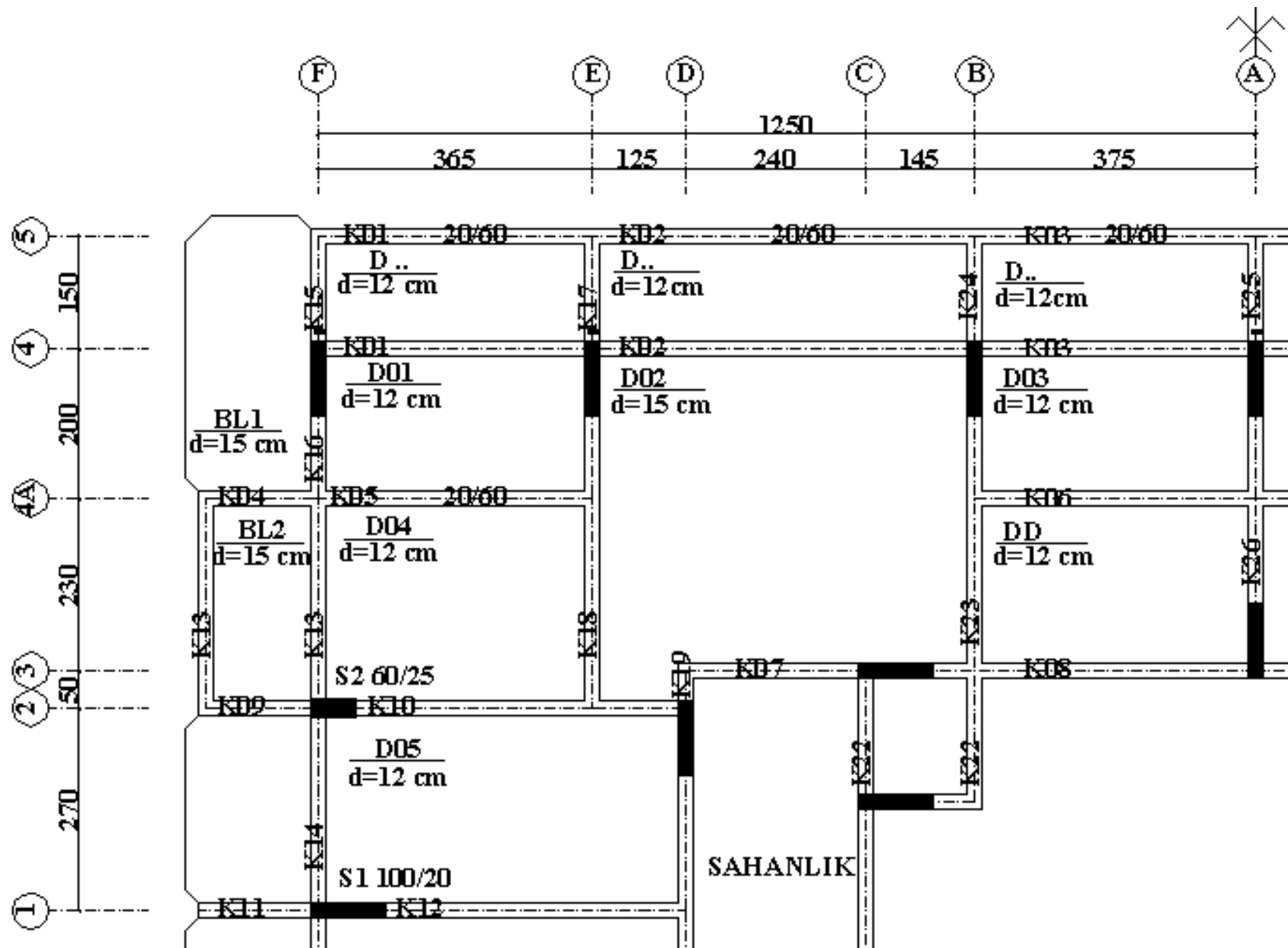


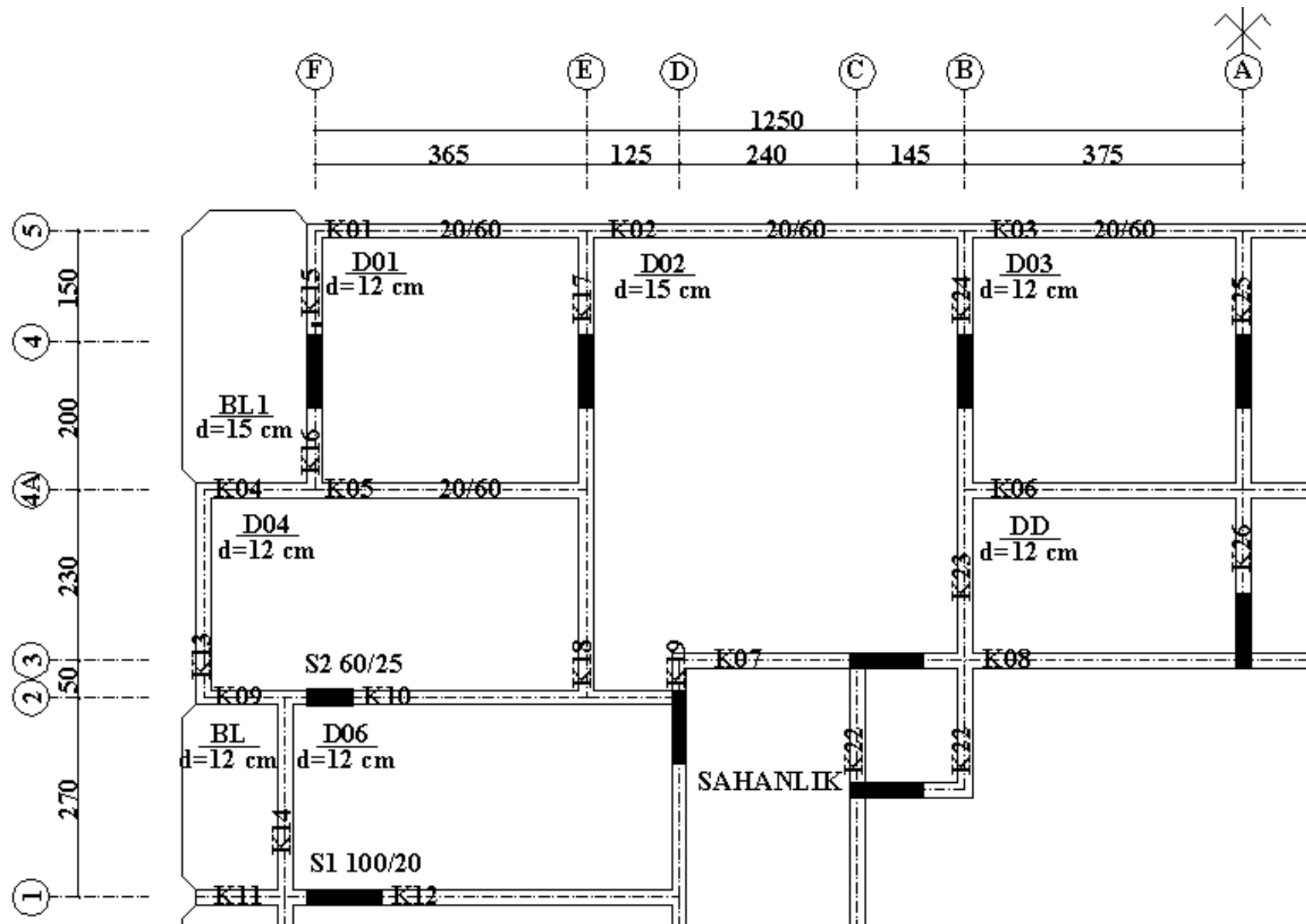
Şekil A.1 6 Katlı Konut Yapısı Zemin Kat Tavanı Kalıp Planı





Şekil A.3 6 Katlı Konut Yapısı Normal Kat Kalıp Planı



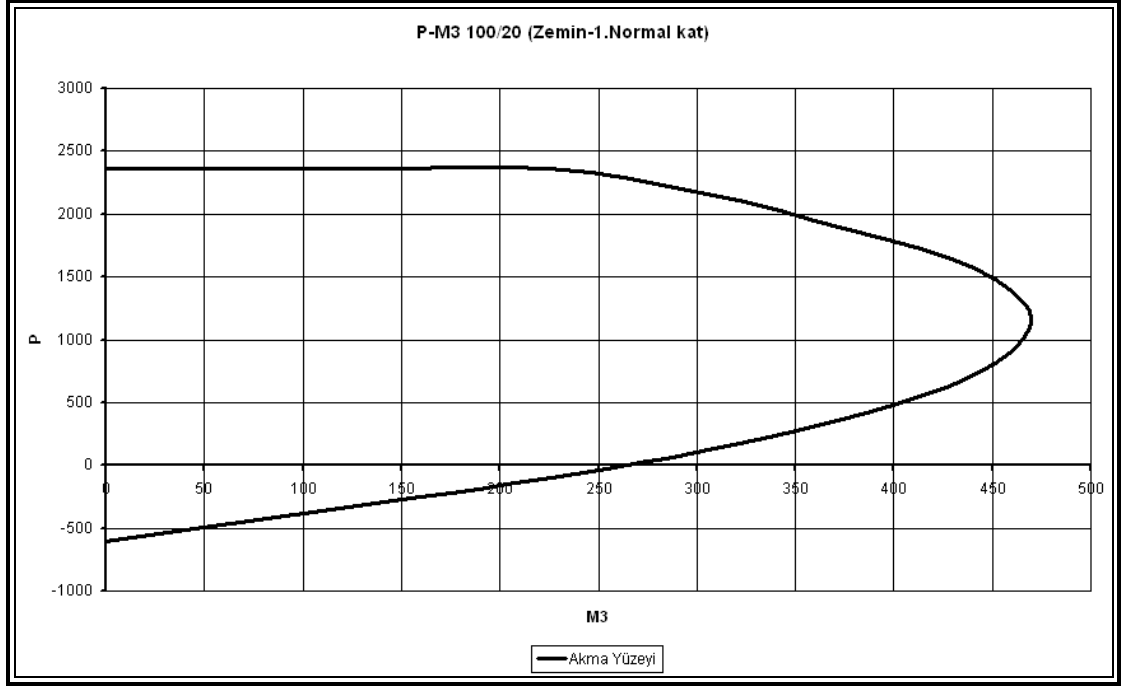


**Tablo A.1** 6 Katlı Konut Yapısı Zemin Kat Tavanı Yükleri, Ağırlık Merkezi, Kütleli Atalet Momentleri

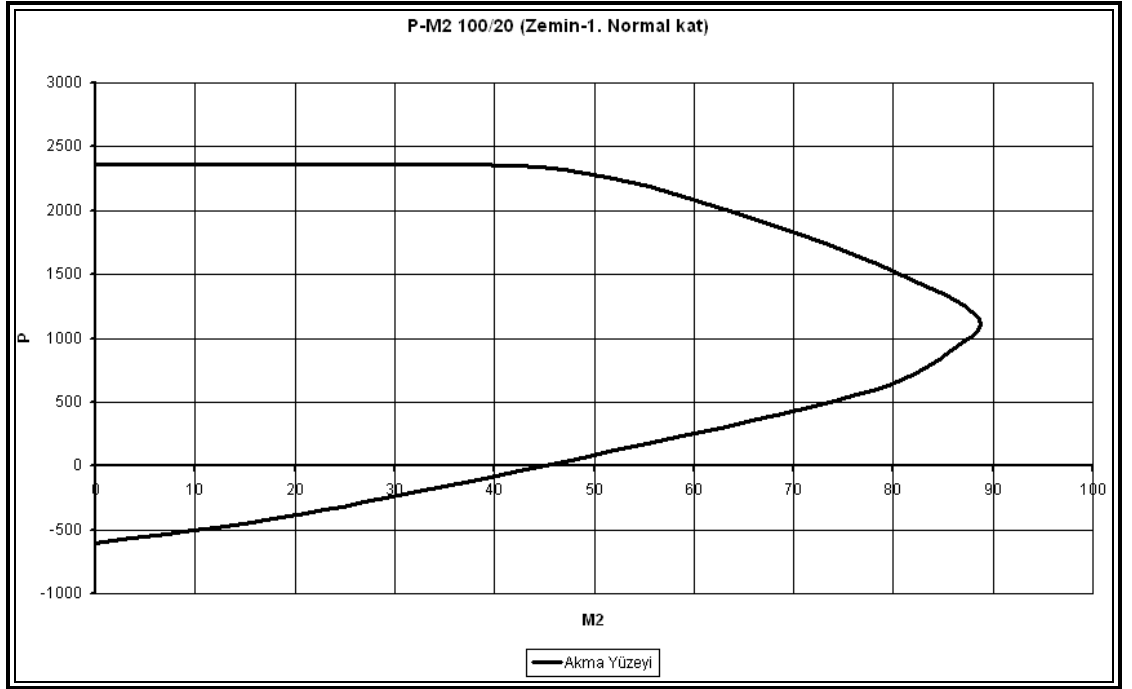
|          | a(m) | b(m) | g(KN/m2) | g(KN/m2) | g(KN/m3) | x(m)  | y(m)  | h(m) | W <sub>0</sub> (KN) | M <sub>i</sub> | M <sub>ixi</sub> | M <sub>iyi</sub> | MMI <sub>o</sub> | D(m)  | MD2    | MMI <sub>o</sub> +MD2 |
|----------|------|------|----------|----------|----------|-------|-------|------|---------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|-------|--------|-----------------------|
| D01      | 3,35 | 1,80 | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 1,85  | 15,45 | 0,12 | 31,96               | 3,26           | 6,03             | 50,33            | 3,93             | 12,45 | 504,59 | 508,51                |
| D012     | 3,35 | 1,30 | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 1,85  | 17,15 | 0,12 | 23,08               | 2,35           | 4,35             | 40,35            | 2,53             | 13,40 | 422,73 | 425,27                |
| D01      | 3,35 | 1,80 | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 1,85  | 2,55  | 0,12 | 31,96               | 3,26           | 6,03             | 8,31             | 3,93             | 12,46 | 505,50 | 509,42                |
| D012     | 3,35 | 1,30 | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 1,85  | 0,85  | 0,12 | 23,08               | 2,35           | 4,35             | 2,00             | 2,53             | 13,42 | 423,56 | 426,10                |
| D01      | 3,35 | 1,80 | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 23,15 | 15,45 | 0,12 | 31,96               | 3,26           | 75,42            | 50,33            | 3,93             | 12,45 | 504,59 | 508,51                |
| D012     | 3,35 | 1,30 | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 23,15 | 17,15 | 0,12 | 23,08               | 2,35           | 54,47            | 40,35            | 2,53             | 13,40 | 422,73 | 425,27                |
| D01      | 3,35 | 1,80 | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 23,15 | 2,55  | 0,12 | 31,96               | 3,26           | 75,42            | 8,31             | 3,93             | 12,46 | 505,50 | 509,42                |
| D012     | 3,35 | 1,30 | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 23,15 | 0,85  | 0,12 | 23,08               | 2,35           | 54,47            | 2,00             | 2,53             | 13,42 | 423,56 | 426,10                |
| D021     | 4,90 | 3,95 | 5,45     | 2,00     | 25,00    | 6,20  | 14,30 | 0,15 | 117,10              | 11,94          | 74,01            | 170,69           | 39,40            | 8,23  | 807,69 | 847,10                |
| D0221    | 1,10 | 0,60 | 5,45     | 2,00     | 25,00    | 4,30  | 12,05 | 0,15 | 3,99                | 0,41           | 1,75             | 4,90             | 0,05             | 8,75  | 31,13  | 31,18                 |
| D0222    | 4,90 | 1,30 | 5,45     | 2,00     | 25,00    | 6,20  | 17,15 | 0,15 | 38,54               | 3,93           | 24,36            | 67,37            | 8,41             | 10,29 | 416,17 | 424,58                |
| D021     | 4,90 | 3,95 | 5,45     | 2,00     | 25,00    | 6,20  | 3,70  | 0,15 | 117,10              | 11,94          | 74,01            | 44,17            | 39,40            | 8,24  | 810,43 | 849,83                |
| D0221    | 1,10 | 0,60 | 5,45     | 2,00     | 25,00    | 4,30  | 5,95  | 0,15 | 3,99                | 0,41           | 1,75             | 2,42             | 0,05             | 8,75  | 31,18  | 31,24                 |
| D0222    | 4,90 | 1,30 | 5,45     | 2,00     | 25,00    | 6,20  | 0,85  | 0,15 | 38,54               | 3,93           | 24,36            | 3,34             | 8,41             | 10,31 | 417,56 | 425,97                |
| D021     | 4,90 | 3,95 | 5,45     | 2,00     | 25,00    | 18,80 | 3,70  | 0,15 | 117,10              | 11,94          | 224,41           | 44,17            | 39,40            | 8,24  | 810,43 | 849,83                |
| D0221    | 1,10 | 0,60 | 5,45     | 2,00     | 25,00    | 20,70 | 5,95  | 0,15 | 3,99                | 0,41           | 8,43             | 2,42             | 0,05             | 8,75  | 31,18  | 31,24                 |
| D0222    | 4,90 | 1,30 | 5,45     | 2,00     | 25,00    | 18,80 | 0,85  | 0,15 | 38,54               | 3,93           | 73,86            | 3,34             | 8,41             | 10,31 | 417,56 | 425,97                |
| D021     | 4,90 | 3,95 | 5,45     | 2,00     | 25,00    | 18,80 | 14,30 | 0,15 | 117,10              | 11,94          | 224,41           | 170,69           | 39,40            | 8,23  | 807,69 | 847,10                |
| D0221    | 1,10 | 0,60 | 5,45     | 2,00     | 25,00    | 20,70 | 12,05 | 0,15 | 3,99                | 0,41           | 8,43             | 4,90             | 0,05             | 8,75  | 31,13  | 31,18                 |
| D0222    | 4,90 | 1,30 | 5,45     | 2,00     | 25,00    | 18,80 | 17,15 | 0,15 | 38,54               | 3,93           | 73,86            | 67,37            | 8,41             | 10,29 | 416,17 | 424,58                |
| D031     | 3,55 | 1,80 | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 10,63 | 15,45 | 0,12 | 33,87               | 3,45           | 36,68            | 53,34            | 4,56             | 6,71  | 155,28 | 159,84                |
| D032     | 3,55 | 1,30 | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 10,63 | 17,15 | 0,12 | 24,46               | 2,49           | 26,49            | 42,76            | 2,97             | 8,35  | 173,94 | 176,91                |
| D031     | 3,55 | 1,80 | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 10,63 | 2,55  | 0,12 | 33,87               | 3,45           | 36,68            | 8,80             | 4,56             | 6,73  | 156,24 | 160,80                |
| D032     | 3,55 | 1,30 | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 10,63 | 0,85  | 0,12 | 24,46               | 2,49           | 26,49            | 2,12             | 2,97             | 8,37  | 174,82 | 177,79                |
| D031     | 3,55 | 1,80 | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 10,63 | 0,85  | 0,12 | 24,46               | 2,49           | 26,49            | 2,12             | 2,97             | 8,37  | 174,82 | 177,79                |
| D032     | 3,55 | 1,80 | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 14,38 | 15,45 | 0,12 | 33,87               | 3,45           | 49,63            | 53,34            | 4,56             | 6,71  | 155,28 | 159,84                |
| D032     | 3,55 | 1,30 | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 14,38 | 17,15 | 0,12 | 24,46               | 2,49           | 35,84            | 42,76            | 2,97             | 8,35  | 173,94 | 176,91                |
| D031     | 3,55 | 1,80 | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 14,38 | 2,55  | 0,12 | 33,87               | 3,45           | 49,63            | 8,80             | 4,56             | 6,73  | 156,24 | 160,80                |
| D032     | 3,55 | 1,30 | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 14,38 | 0,85  | 0,12 | 24,46               | 2,49           | 35,84            | 2,12             | 2,97             | 8,37  | 174,82 | 177,79                |
| DD       | 3,55 | 1,95 | 8,32     | 2,00     | 25,00    | 14,38 | 4,68  | 0,12 | 61,75               | 6,29           | 90,48            | 29,43            | 8,61             | 4,72  | 140,46 | 149,07                |
| DD       | 3,55 | 1,95 | 8,32     | 2,00     | 25,00    | 14,38 | 13,33 | 0,12 | 61,75               | 6,29           | 90,48            | 83,87            | 8,61             | 4,70  | 139,28 | 147,89                |
| DD       | 3,55 | 1,95 | 8,32     | 2,00     | 25,00    | 10,63 | 4,68  | 0,12 | 61,75               | 6,29           | 66,88            | 29,43            | 8,61             | 4,72  | 140,46 | 149,07                |
| DD       | 3,55 | 1,95 | 8,32     | 2,00     | 25,00    | 10,63 | 13,33 | 0,12 | 61,75               | 6,29           | 66,88            | 83,87            | 8,61             | 4,70  | 139,28 | 147,89                |
| D041     | 3,35 | 2,50 | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 1,85  | 5,05  | 0,12 | 44,39               | 4,52           | 8,37             | 22,85            | 6,59             | 11,36 | 584,19 | 590,78                |
| D042     | 1,30 | 2,50 | 4,70     | 2,00     | 25,00    | -0,65 | 5,05  | 0,12 | 17,23               | 1,76           | -1,14            | 8,87             | 1,16             | 13,73 | 331,17 | 332,34                |
| D041     | 3,35 | 2,50 | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 1,85  | 12,95 | 0,12 | 44,39               | 4,52           | 8,37             | 58,60            | 6,59             | 11,36 | 583,42 | 590,00                |
| D042     | 1,30 | 2,50 | 4,70     | 2,00     | 25,00    | -0,65 | 12,95 | 0,12 | 17,23               | 1,76           | -1,14            | 22,74            | 1,16             | 13,73 | 330,87 | 332,04                |
| D041     | 3,35 | 2,50 | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 23,15 | 5,05  | 0,12 | 44,39               | 4,52           | 104,75           | 22,85            | 6,59             | 11,36 | 584,19 | 590,78                |
| D042     | 1,30 | 2,50 | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 25,65 | 5,05  | 0,12 | 17,23               | 1,76           | 45,04            | 8,87             | 1,16             | 13,73 | 331,17 | 332,34                |
| D041     | 3,35 | 2,50 | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 23,15 | 12,95 | 0,12 | 44,39               | 4,52           | 104,75           | 58,60            | 6,59             | 11,36 | 583,42 | 590,00                |
| D042     | 1,30 | 2,50 | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 25,65 | 12,95 | 0,12 | 17,23               | 1,76           | 45,04            | 22,74            | 1,16             | 13,73 | 330,87 | 332,04                |
| D05      | 4,60 | 2,40 | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 2,50  | 7,70  | 0,12 | 58,51               | 5,96           | 14,91            | 61,43            | 13,38            | 10,08 | 606,37 | 619,75                |
| D05      | 4,60 | 2,40 | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 2,50  | 7,70  | 0,12 | 58,51               | 5,96           | 14,91            | 45,93            | 13,38            | 10,09 | 606,70 | 620,08                |
| D05      | 4,60 | 2,40 | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 22,50 | 10,30 | 0,12 | 58,51               | 5,96           | 134,20           | 61,43            | 13,38            | 10,08 | 606,37 | 619,75                |
| D05      | 4,60 | 2,40 | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 22,50 | 7,70  | 0,12 | 58,51               | 5,96           | 134,20           | 45,93            | 13,38            | 10,09 | 606,70 | 620,08                |
| BL1      | 1,65 | 3,70 | 5,45     | 5,00     | 25,00    | -0,83 | 16,15 | 0,15 | 42,43               | 4,33           | -3,57            | 69,85            | 5,92             | 15,12 | 988,40 | 994,31                |
| BL1      | 1,65 | 3,70 | 5,45     | 5,00     | 25,00    | -0,83 | 1,85  | 0,15 | 42,43               | 4,33           | -3,57            | 8,00             | 5,92             | 15,13 | 989,74 | 995,65                |
| BL1      | 1,65 | 3,70 | 5,45     | 5,00     | 25,00    | 25,83 | 16,15 | 0,15 | 42,43               | 4,33           | 111,70           | 69,85            | 5,92             | 15,12 | 988,40 | 994,31                |
| BL1      | 1,65 | 3,70 | 5,45     | 5,00     | 25,00    | 25,83 | 1,85  | 0,15 | 42,43               | 4,33           | 111,70           | 8,00             | 5,92             | 15,13 | 989,74 | 995,65                |
| BL2      | 1,65 | 2,40 | 5,45     | 5,00     | 25,00    | -0,83 | 10,30 | 0,15 | 27,52               | 2,81           | -2,31            | 28,90            | 1,98             | 13,39 | 502,80 | 504,78                |
| BL2      | 1,65 | 2,40 | 5,45     | 5,00     | 25,00    | -0,83 | 7,70  | 0,15 | 27,52               | 2,81           | -2,31            | 21,60            | 1,98             | 13,39 | 502,95 | 504,94                |
| BL2      | 1,65 | 2,40 | 5,45     | 5,00     | 25,00    | 25,83 | 10,30 | 0,15 | 27,52               | 2,81           | 72,45            | 28,90            | 1,98             | 13,39 | 502,80 | 504,78                |
| BL2      | 1,65 | 2,40 | 5,45     | 5,00     | 25,00    | 25,83 | 7,70  | 0,15 | 27,52               | 2,81           | 72,45            | 21,60            | 1,98             | 13,39 | 502,95 | 504,94                |
| SAHANLIK | 2,25 | 6,40 | 5,87     | 3,50     | 25,00    | 6,10  | 9,00  | 0,15 | 99,65               | 10,16          | 61,96            | 91,42            | 38,96            | 6,40  | 416,06 | 455,02                |
| SAHANLIK | 2,25 | 6,40 | 5,87     | 3,50     | 25,00    | 18,90 | 9,00  | 0,15 | 99,65               | 10,16          | 191,98           | 91,42            | 38,96            | 6,40  | 416,06 | 455,02                |
| S1       | 1,00 | 0,20 |          |          | 25,00    | 0,10  | 2,00  | 2,80 | 14,00               | 1,43           | 0,14             | 2,85             | 0,12             | 14,24 | 289,58 | 289,70                |
| S1       | 1,00 | 0,20 |          |          | 25,00    | 0,10  | 16,00 | 2,80 | 14,00               | 1,43           | 0,14             | 22,83            | 0,12             | 14,23 | 289,15 | 289,27                |
| S1       | 1,00 | 0,20 |          |          | 25,00    | 24,90 | 2,00  | 2,80 | 14,00               | 1,43           | 33,54            | 2,85             | 0,12             | 14,24 | 289,58 | 289,70                |
| S1       | 1,00 | 0,20 |          |          | 25,00    | 24,90 | 16,00 | 2,80 | 14,00               | 1,43           | 33,54            | 22,83            | 0,12             | 14,23 | 289,15 | 289,27                |
| S2       | 1,00 | 0,20 |          |          | 25,00    | 3,65  | 2,00  | 2,80 | 14,00               | 1,43           | 5,21             | 2,85             | 0,12             | 11,29 | 181,92 | 182,04                |
| S2       | 1,00 | 0,20 |          |          | 25,00    | 3,65  | 16,00 | 2,80 | 14,00               | 1,43           | 5,21             | 22,83            | 0,12             | 11,28 | 181,49 | 181,61                |
| S2       | 1,00 | 0,20 |          |          | 25,00    | 21,35 | 2,00  | 2,80 | 14,00               | 1,43           | 30,47            | 2,85             | 0,12             | 11,29 | 181,92 | 182,04                |
| S2       | 1,00 | 0,20 |          |          | 25,00    | 21,35 | 16,00 | 2,80 | 14,00               | 1,43           | 30,47            | 22,83            | 0,12             | 11,28 | 181,49 | 181,61                |
| S3       | 1,00 | 0,20 |          |          | 25,00    | 8,75  | 2,00  | 2,80 | 14,00               | 1,43           | 12,49            | 2,85             | 0,12             | 7,95  | 90,21  | 90,34                 |
| S3       | 1,00 | 0,20 |          |          | 25,00    | 8,75  | 16,00 | 2,80 | 14,00               | 1,43           | 12,49            | 22,83            | 0,12             | 7,93  | 89,78  | 89,91                 |
| S3       | 1,00 | 0,20 |          |          | 25,00    | 16,25 | 2,00  | 2,80 | 14,00               | 1,43           | 23,19            | 2,85             | 0,12             | 7,95  | 90,21  | 90,34                 |
| S3       | 1,00 | 0,20 |          |          | 25,00    | 16,25 | 16,00 | 2,80 | 14,00               | 1,43           | 23,19            | 22,83            | 0,12             | 7,93  | 89,78  | 89,91                 |
| S4       | 1,00 | 0,20 |          |          | 25,00    | 12,50 | 16,00 | 2,80 | 14,00               | 1,43           | 17,84            | 22,83            | 0,12             | 6,99  | 69,71  | 69,84                 |
| S4       | 1,00 | 0,20 |          |          | 25,00    | 12,50 | 2,00  | 2,80 | 14,00               | 1,43           | 17,84            | 2,85             | 0,12             | 7,01  | 70,14  | 70,27                 |
| S5       | 1,00 | 0,20 |          |          | 25,00    | 7,80  | 5,70  | 2,80 | 14,00               | 1,43           | 11,13            | 8,13             | 0,12             | 5,75  | 47,17  | 47,29                 |
| S5       | 1,00 | 0,20 |          |          | 25,00    | 7,80  | 12,30 | 2,80 | 14,00               | 1,43           | 11,13            | 17,55            | 0,12             | 5,74  | 46,96  | 47,09                 |
| S5       | 1,00 | 0,20 |          |          | 25,00    | 17,20 | 12,30 | 2,80 | 14,00               | 1,43           | 24,55            | 17,55            | 0,12             | 5,74  | 46,96  | 47,09                 |
| S5       | 1,00 | 0,20 |          |          | 25,00    | 17,20 | 5,70  | 2,80 | 14,00               | 1,43           | 24,55            | 8,13             | 0,12             | 5,75  | 47,17  | 47,29                 |
| S6       | 1,00 | 0,20 |          |          | 25,00    | 12,50 | 5,30  | 2,80 | 14,00               | 1,43           | 17,84            | 7,56             | 0,12             | 7,11  | 19,65  | 19,78                 |
| S6       | 1,00 | 0,20 |          |          | 25,00    | 12,50 | 17,20 | 2,80 | 14,00               |                |                  |                  |                  |       |        |                       |

**Tablo A.2** 6 Katlı Konut Yapısı Normal Kat Tavanı Yükleri, Ağırlık Merkezi, Kütleli Atalet Momentleri

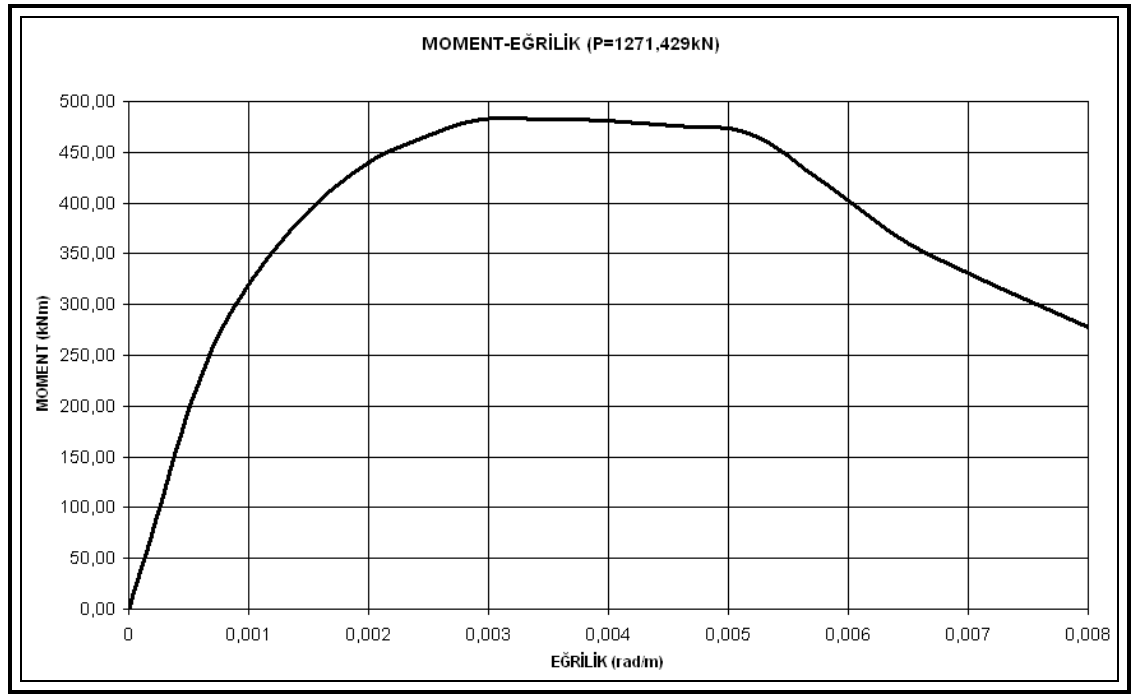
|          | a(m) | b(m)  | g(KN/m2) | q(KN/m2) | g(KN/m3) | x(m)  | y(m)  | h(m) | W <sub>0</sub> (KN) | M <sub>i</sub> | M <sub>ixi</sub> | M <sub>iyi</sub> | MMI <sub>0</sub> | D(m)  | MD2     | MMI <sub>0</sub> +MD2 |
|----------|------|-------|----------|----------|----------|-------|-------|------|---------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|-------|---------|-----------------------|
| D01      | 3,35 | 3,35  | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 1,88  | 1,88  | 0,12 | 59,48               | 6,06           | 11,37            | 11,37            | 11,34            | 12,80 | 993,26  | 1004,60               |
| D01      | 3,35 | 3,35  | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 1,88  | 16,13 | 0,12 | 59,48               | 6,06           | 11,37            | 97,77            | 11,34            | 12,79 | 991,28  | 1002,62               |
| D01      | 3,35 | 3,35  | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 23,13 | 1,88  | 0,12 | 59,48               | 6,06           | 140,21           | 11,37            | 11,34            | 12,80 | 993,26  | 1004,60               |
| D01      | 3,35 | 3,35  | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 23,13 | 16,13 | 0,12 | 59,48               | 6,06           | 140,21           | 97,77            | 11,34            | 12,79 | 991,28  | 1002,62               |
| D021     | 4,90 | 5,40  | 5,45     | 2,00     | 25,00    | 6,20  | 2,90  | 0,15 | 160,08              | 16,32          | 101,17           | 47,32            | 72,30            | 8,78  | 1257,16 | 1329,47               |
| D021     | 4,90 | 5,40  | 5,45     | 2,00     | 25,00    | 6,20  | 15,10 | 0,15 | 160,08              | 16,32          | 101,17           | 246,41           | 72,30            | 8,76  | 1252,60 | 1324,91               |
| D021     | 4,90 | 5,40  | 5,45     | 2,00     | 25,00    | 18,80 | 2,90  | 0,15 | 160,08              | 16,32          | 306,78           | 47,32            | 72,30            | 8,78  | 1257,16 | 1329,47               |
| D021     | 4,90 | 5,40  | 5,45     | 2,00     | 25,00    | 18,80 | 15,10 | 0,15 | 160,08              | 16,32          | 306,78           | 246,41           | 72,30            | 8,76  | 1252,60 | 1324,91               |
| D022     | 1,10 | 0,60  | 5,45     | 2,00     | 25,00    | 4,30  | 5,95  | 0,15 | 3,99                | 0,41           | 1,75             | 2,42             | 0,05             | 8,75  | 31,18   | 31,24                 |
| D022     | 1,10 | 0,60  | 5,45     | 2,00     | 25,00    | 4,30  | 12,05 | 0,15 | 3,99                | 0,41           | 1,75             | 4,90             | 0,05             | 8,74  | 31,13   | 31,18                 |
| D022     | 1,10 | 0,60  | 5,45     | 2,00     | 25,00    | 20,70 | 5,95  | 0,15 | 3,99                | 0,41           | 8,43             | 2,42             | 0,05             | 8,75  | 31,18   | 31,24                 |
| D022     | 1,10 | 0,60  | 5,45     | 2,00     | 25,00    | 20,70 | 12,05 | 0,15 | 3,99                | 0,41           | 8,43             | 4,90             | 0,05             | 8,74  | 31,13   | 31,18                 |
| D03      | 3,55 | 3,35  | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 10,63 | 1,88  | 0,12 | 63,03               | 6,43           | 68,27            | 12,05            | 12,76            | 7,38  | 349,81  | 362,57                |
| D03      | 3,55 | 3,35  | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 10,63 | 16,13 | 0,12 | 63,03               | 6,43           | 68,27            | 103,60           | 12,76            | 7,36  | 347,71  | 360,47                |
| D03      | 3,55 | 3,35  | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 14,38 | 1,88  | 0,12 | 63,03               | 6,43           | 92,36            | 12,05            | 12,76            | 7,38  | 349,81  | 362,57                |
| D03      | 3,55 | 3,35  | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 14,38 | 16,13 | 0,12 | 63,03               | 6,43           | 92,36            | 103,60           | 12,76            | 7,36  | 347,71  | 360,47                |
| D04      | 4,90 | 2,50  | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 0,95  | 5,05  | 0,12 | 64,93               | 6,62           | 6,29             | 33,42            | 16,69            | 12,21 | 986,75  | 1003,44               |
| D04      | 4,90 | 2,50  | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 0,95  | 12,95 | 0,12 | 64,93               | 6,62           | 6,29             | 85,71            | 16,69            | 12,20 | 985,55  | 1002,24               |
| D04      | 4,90 | 2,50  | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 24,05 | 5,05  | 0,12 | 64,93               | 6,62           | 159,17           | 33,42            | 16,69            | 12,21 | 986,75  | 1003,44               |
| D04      | 4,90 | 2,50  | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 24,05 | 12,95 | 0,12 | 64,93               | 6,62           | 159,17           | 85,71            | 16,69            | 12,20 | 985,55  | 1002,24               |
| D06      | 5,40 | 2,50  | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 2,20  | 7,70  | 0,12 | 71,55               | 7,29           | 16,05            | 56,16            | 21,52            | 10,38 | 786,32  | 807,84                |
| D06      | 5,40 | 2,50  | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 2,20  | 10,30 | 0,12 | 71,55               | 7,29           | 16,05            | 75,12            | 21,52            | 10,38 | 785,89  | 807,41                |
| D06      | 5,40 | 2,50  | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 22,80 | 7,70  | 0,12 | 71,55               | 7,29           | 166,29           | 56,16            | 21,52            | 10,38 | 786,32  | 807,84                |
| D06      | 5,40 | 2,50  | 4,70     | 2,00     | 25,00    | 22,80 | 10,30 | 0,12 | 71,55               | 7,29           | 166,29           | 75,12            | 21,52            | 10,38 | 785,89  | 807,41                |
| BALKON1  | 1,65 | 3,70  | 5,45     | 5,00     | 25,00    | -0,83 | 1,85  | 0,15 | 42,43               | 4,33           | -3,57            | 8,00             | 5,92             | 15,12 | 989,78  | 995,69                |
| BALKON1  | 1,65 | 3,70  | 5,45     | 5,00     | 25,00    | -0,83 | 16,15 | 0,15 | 42,43               | 4,33           | -3,57            | 69,85            | 5,92             | 15,12 | 988,36  | 994,28                |
| BALKON1  | 1,65 | 3,70  | 5,45     | 5,00     | 25,00    | 25,83 | 1,85  | 0,15 | 42,43               | 4,33           | 111,70           | 8,00             | 5,92             | 15,13 | 989,78  | 995,69                |
| BALKON1  | 1,65 | 3,70  | 5,45     | 5,00     | 25,00    | 25,83 | 16,15 | 0,15 | 42,43               | 4,33           | 111,70           | 69,85            | 5,92             | 15,12 | 988,36  | 994,28                |
| BALKON2  | 1,00 | 2,50  | 4,70     | 5,00     | 25,00    | -1,00 | 7,70  | 0,12 | 15,50               | 1,58           | -1,58            | 12,17            | 0,95             | 13,56 | 290,68  | 291,63                |
| BALKON2  | 1,00 | 2,50  | 4,70     | 5,00     | 25,00    | -1,00 | 10,30 | 0,12 | 15,50               | 1,58           | -1,58            | 16,27            | 0,95             | 13,56 | 290,58  | 291,54                |
| BALKON2  | 1,00 | 2,50  | 4,70     | 5,00     | 25,00    | 26,00 | 7,70  | 0,12 | 15,50               | 1,58           | 41,08            | 12,17            | 0,95             | 13,56 | 290,68  | 291,63                |
| BALKON2  | 1,00 | 2,50  | 4,70     | 5,00     | 25,00    | 26,00 | 10,30 | 0,12 | 15,50               | 1,58           | 41,08            | 16,27            | 0,95             | 13,56 | 290,58  | 291,54                |
| DD       | 3,55 | 1,95  | 8,32     | 2,00     | 25,00    | 10,63 | 4,68  | 0,12 | 61,75               | 6,29           | 66,88            | 29,43            | 8,61             | 4,72  | 140,50  | 149,10                |
| DD       | 3,55 | 1,95  | 8,32     | 2,00     | 25,00    | 10,63 | 13,33 | 0,12 | 61,75               | 6,29           | 66,88            | 83,87            | 8,61             | 4,70  | 139,25  | 147,85                |
| DD       | 3,55 | 1,95  | 8,32     | 2,00     | 25,00    | 14,38 | 4,68  | 0,12 | 61,75               | 6,29           | 90,48            | 29,43            | 8,61             | 4,72  | 140,50  | 149,10                |
| DD       | 3,55 | 1,95  | 8,32     | 2,00     | 25,00    | 14,38 | 13,33 | 0,12 | 61,75               | 6,29           | 90,48            | 83,87            | 8,61             | 4,70  | 139,25  | 147,85                |
| SAHANLIK | 2,25 | 6,40  | 5,87     | 3,50     | 25,00    | 6,10  | 9,00  | 0,15 | 99,65               | 10,16          | 61,96            | 91,42            | 38,96            | 6,40  | 416,06  | 455,02                |
| SAHANLIK | 2,25 | 6,40  | 5,87     | 3,50     | 25,00    | 18,90 | 9,00  | 0,15 | 99,65               | 10,16          | 191,98           | 91,42            | 38,96            | 6,40  | 416,06  | 455,02                |
| S1       | 1,00 | 0,20  |          |          | 25,00    | 0,10  | 2,00  | 0,80 | 14,00               | 1,43           | 0,14             | 2,85             | 0,12             | 14,25 | 289,59  | 289,71                |
| S1       | 1,00 | 0,20  |          |          | 25,00    | 0,10  | 16,00 | 0,80 | 14,00               | 1,43           | 0,14             | 22,83            | 0,12             | 14,23 | 289,13  | 289,26                |
| S1       | 1,00 | 0,20  |          |          | 25,00    | 24,90 | 2,00  | 0,80 | 14,00               | 1,43           | 35,54            | 2,85             | 0,12             | 14,25 | 289,59  | 289,71                |
| S1       | 1,00 | 0,20  |          |          | 25,00    | 24,90 | 16,00 | 0,80 | 14,00               | 1,43           | 35,54            | 22,83            | 0,12             | 14,23 | 289,13  | 289,26                |
| S2       | 1,00 | 0,20  |          |          | 25,00    | 3,65  | 2,00  | 0,80 | 14,00               | 1,43           | 5,21             | 2,85             | 0,12             | 11,29 | 181,93  | 182,06                |
| S2       | 1,00 | 0,20  |          |          | 25,00    | 3,65  | 16,00 | 0,80 | 14,00               | 1,43           | 5,21             | 22,83            | 0,12             | 11,28 | 181,48  | 181,60                |
| S2       | 1,00 | 0,20  |          |          | 25,00    | 21,35 | 2,00  | 0,80 | 14,00               | 1,43           | 30,47            | 2,85             | 0,12             | 11,29 | 181,93  | 182,06                |
| S2       | 1,00 | 0,20  |          |          | 25,00    | 21,35 | 16,00 | 0,80 | 14,00               | 1,43           | 30,47            | 22,83            | 0,12             | 11,28 | 181,48  | 181,60                |
| S3       | 1,00 | 0,20  |          |          | 25,00    | 8,75  | 2,00  | 0,80 | 14,00               | 1,43           | 12,49            | 2,85             | 0,12             | 7,95  | 90,23   | 90,35                 |
| S3       | 1,00 | 0,20  |          |          | 25,00    | 8,75  | 16,00 | 0,80 | 14,00               | 1,43           | 12,49            | 22,83            | 0,12             | 7,93  | 89,77   | 89,89                 |
| S3       | 1,00 | 0,20  |          |          | 25,00    | 16,25 | 2,00  | 0,80 | 14,00               | 1,43           | 23,19            | 2,85             | 0,12             | 7,95  | 90,23   | 90,35                 |
| S3       | 1,00 | 0,20  |          |          | 25,00    | 16,25 | 16,00 | 0,80 | 14,00               | 1,43           | 23,19            | 22,83            | 0,12             | 7,93  | 89,77   | 89,89                 |
| S4       | 1,00 | 0,20  |          |          | 25,00    | 12,50 | 16,00 | 0,80 | 14,00               | 1,43           | 17,84            | 22,83            | 0,12             | 6,99  | 69,70   | 69,82                 |
| S4       | 1,00 | 0,20  |          |          | 25,00    | 12,50 | 2,00  | 0,80 | 14,00               | 1,43           | 17,84            | 2,85             | 0,12             | 7,01  | 70,16   | 70,28                 |
| S5       | 1,00 | 0,20  |          |          | 25,00    | 7,80  | 5,70  | 0,80 | 14,00               | 1,43           | 11,13            | 8,13             | 0,12             | 5,75  | 47,17   | 47,30                 |
| S5       | 1,00 | 0,20  |          |          | 25,00    | 7,80  | 12,30 | 0,80 | 14,00               | 1,43           | 11,13            | 17,55            | 0,12             | 5,74  | 46,96   | 47,08                 |
| S5       | 1,00 | 0,20  |          |          | 25,00    | 17,20 | 5,70  | 0,80 | 14,00               | 1,43           | 24,55            | 8,13             | 0,12             | 5,75  | 47,17   | 47,30                 |
| S5       | 1,00 | 0,20  |          |          | 25,00    | 17,20 | 12,30 | 0,80 | 14,00               | 1,43           | 24,55            | 17,55            | 0,12             | 5,74  | 46,96   | 47,08                 |
| S6       | 1,00 | 0,20  |          |          | 25,00    | 12,50 | 5,30  | 0,80 | 14,00               | 1,43           | 17,84            | 7,56             | 0,12             | 3,71  | 19,66   | 19,78                 |
| S6       | 1,00 | 0,20  |          |          | 25,00    | 12,50 | 12,70 | 0,80 | 14,00               | 1,43           | 17,84            | 18,12            | 0,12             | 3,69  | 19,42   | 19,54                 |
| S7       | 0,60 | 0,25  |          |          | 25,00    | 0,30  | 6,43  | 0,80 | 10,50               | 1,07           | 0,32             | 6,88             | 0,04             | 12,47 | 166,47  | 166,51                |
| S7       | 0,60 | 0,25  |          |          | 25,00    | 0,30  | 11,58 | 0,80 | 10,50               | 1,07           | 0,32             | 12,39            | 0,04             | 12,47 | 166,34  | 166,38                |
| S7       | 0,60 | 0,25  |          |          | 25,00    | 24,70 | 6,43  | 0,80 | 10,50               | 1,07           | 26,44            | 6,88             | 0,04             | 12,47 | 166,47  | 166,51                |
| S7       | 0,60 | 0,25  |          |          | 25,00    | 24,70 | 11,58 | 0,80 | 10,50               | 1,07           | 26,44            | 12,39            | 0,04             | 12,47 | 166,34  | 166,38                |
| S8       | 1,00 | 0,20  |          |          | 25,00    | 5,00  | 6,80  | 0,80 | 14,00               | 1,43           | 7,14             | 9,70             | 0,12             | 7,82  | 87,25   | 87,38                 |
| S8       | 1,00 | 0,20  |          |          | 25,00    | 5,00  | 11,20 | 0,80 | 14,00               | 1,43           | 7,14             | 15,98            | 0,12             | 7,81  | 87,11   | 87,23                 |
| S8       | 1,00 | 0,20  |          |          | 25,00    | 20,00 | 6,80  | 0,80 | 14,00               | 1,43           | 28,54            | 9,70             | 0,12             | 7,82  | 87,25   | 87,38                 |
| S8       | 1,00 | 0,20  |          |          | 25,00    | 20,00 | 11,20 | 0,80 | 14,00               | 1,43           | 28,54            | 15,98            | 0,12             | 7,81  | 87,11   | 87,23                 |
| S9       | 1,00 | 0,20  |          |          | 25,00    | 7,80  | 10,90 | 0,80 | 14,00               | 1,43           | 11,13            | 15,56            | 0,12             | 5,07  | 36,61   | 36,74                 |
| S9       | 1,00 | 0,20  |          |          | 25,00    | 17,20 | 10,90 | 0,80 | 14,00               | 1,43           | 24,55            | 15,56            | 0,12             | 5,07  | 36,61   | 36,74                 |
| S10      | 1,00 | 0,20  |          |          | 25,00    | 0,50  | 9,00  | 0,80 | 14,00               | 1,43           | 0,71             | 12,84            | 0,12             | 12,00 | 205,50  | 205,63                |
| S10      | 1,00 | 0,20  |          |          | 25,00    | 24,50 | 9,00  | 0,80 | 14,00               | 1,43           | 34,96            | 12,84            | 0,12             | 12,00 | 205,50  | 205,63                |
| F-AKSI   | 0,20 | 5,40  |          |          | 25,00    | -1,50 | 9,00  | 0,60 | 30,78               | 3,14           | -4,71            | 28,24            | 7,63             | 14,00 | 614,97  | 622,61                |
| F-AKSI   | 0,20 | 5,40  |          |          | 25,00    | -0,50 | 9,00  | 0,60 | 30,78               | 3,14           | -1,57            | 28,24            | 7,63             | 13,00 | 530,26  | 537,89                |
| FAKSI    | 0,20 | 7,20  |          |          | 25,00    | 0,00  | 9,00  | 0,60 | 48,96               | 4,99           | 0,00             | 44,92            | 21,58            | 12,50 | 779,82  | 801,39                |
| EAKSI    | 0,20 | 12,60 |          |          | 25,00    | 3,65  | 9,00  | 0,60 | 75,60               | 7,71           | 28,13            | 69,36            | 101,98           | 8,85  | 603,59  | 705,57                |
| DAKSI    | 0,20 | 6,40  |          |          | 25,00    | 4,90  | 9,00  | 0,60 | 47,50               | 4,84           | 23,73            | 43,58            | 16,54            | 7,60  | 279,67  | 296,22                |
| CAKSI    | 0,20 | 6,75  |          |          | 25,00    | 7,30  | 9,31  | 0,60 | 55,90               | 5,70           | 41,60            | 53,0             |                  |       |         |                       |



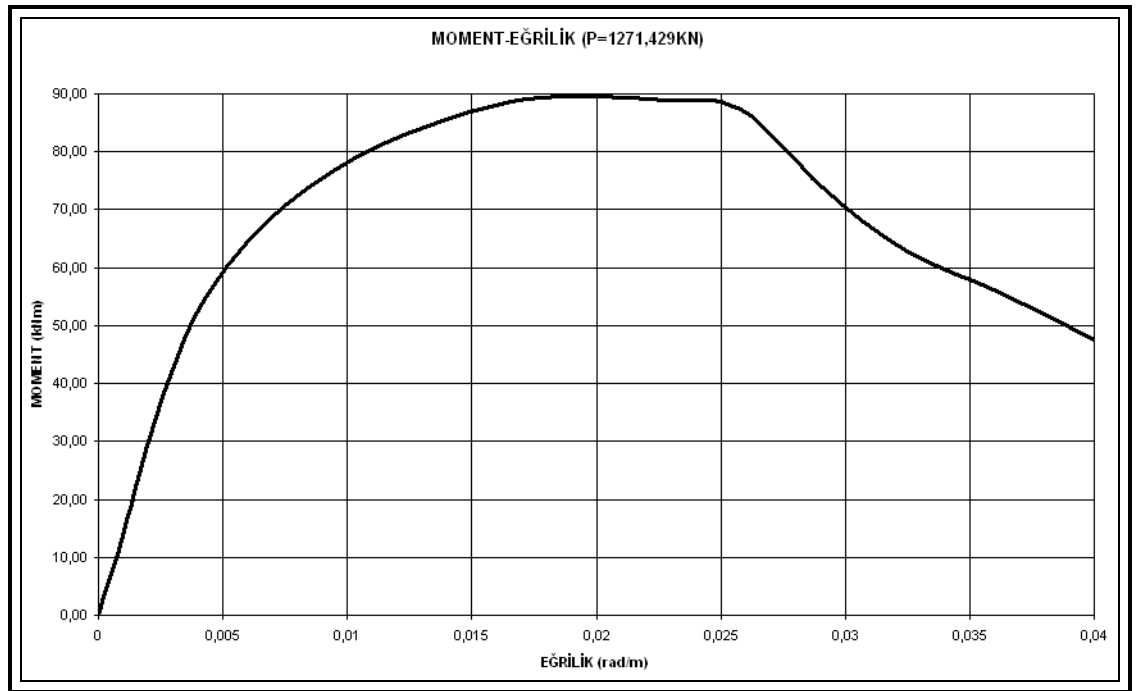
**Şekil A.5** Zemin-1.normal katlardaki 100/20 boyutundaki kolonun güçlü yönüne ait akma yüzeyi diagramı (kN-m)



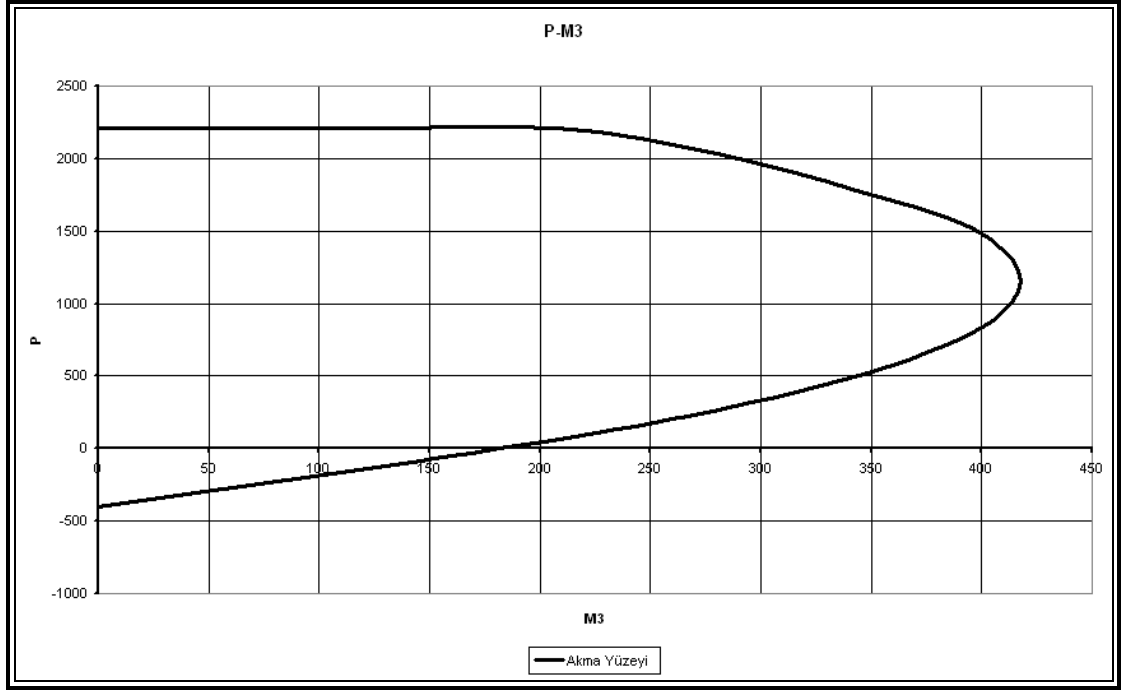
**Şekil A.6** Zemin-1.normal katlardaki 100/20 boyutundaki kolonun zayıf yönüne ait akma yüzeyi diagramı (kN-m)



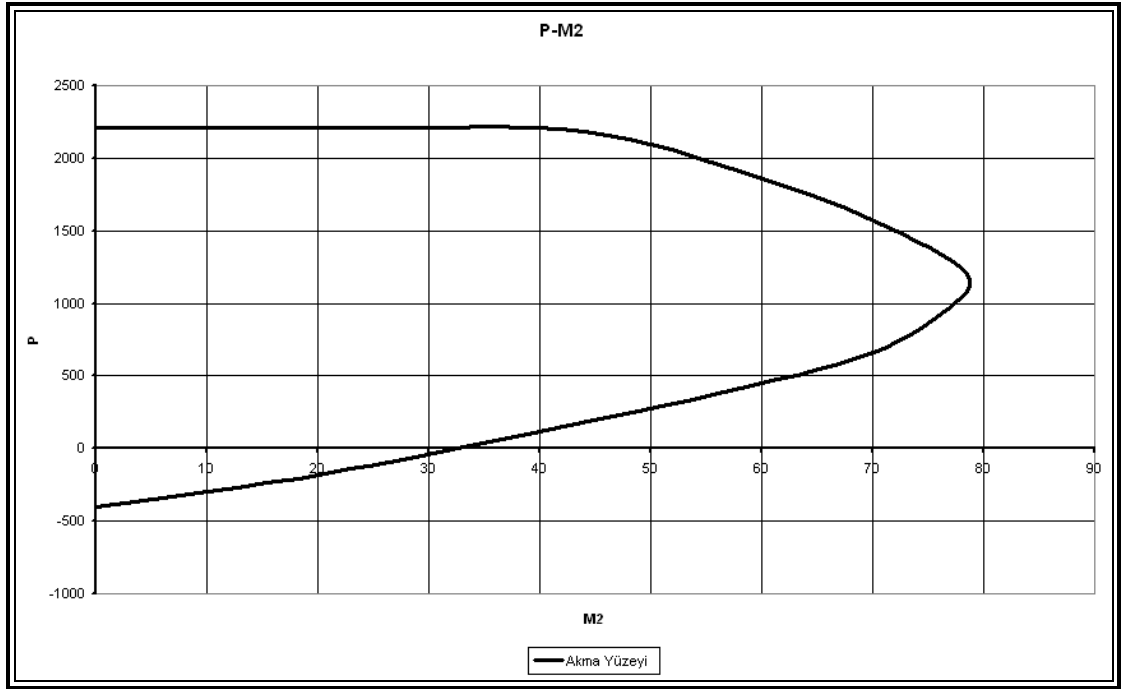
**Şekil A.7** Zemin-1.normal katlardaki 100/20 boyutundaki kolonun güçlü yönüne ait Moment-Eğrilik ilişkisi (kN-m)



**Şekil A.8** Zemin-1.normal katlardaki 100/20 boyutundaki kolonun zayıf yönüne ait Moment-Eğrilik ilişkisi

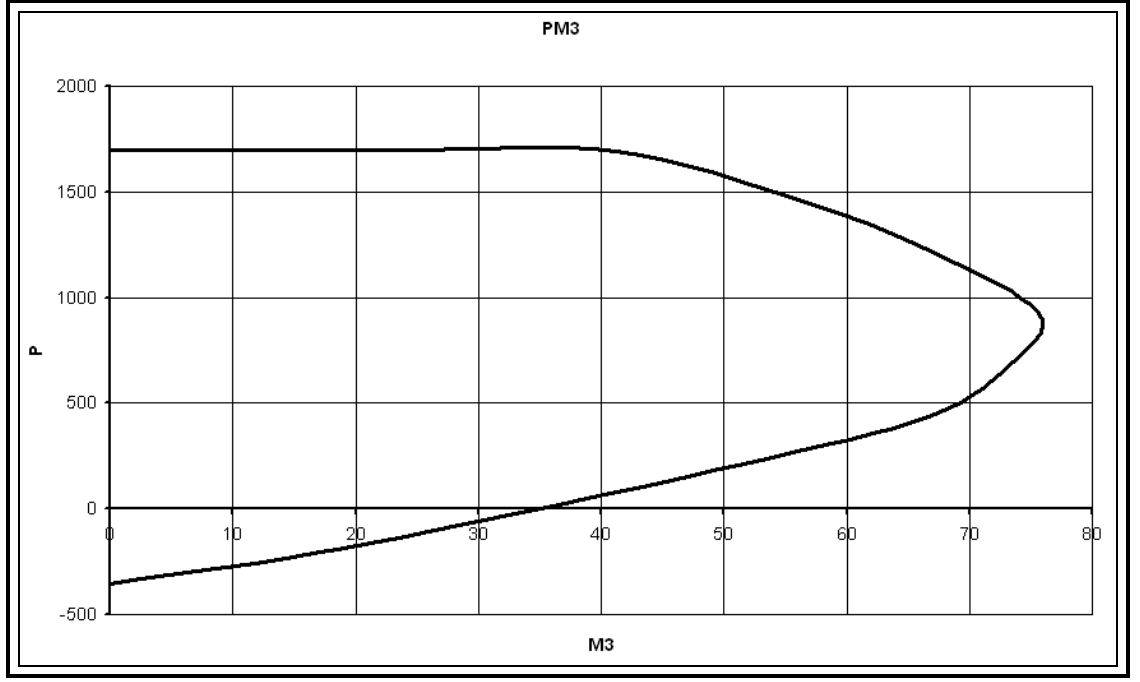


**Şekil A.9** 3,4,5 ve 6. katlardaki 100/20 boyutundaki kolonun güçlü yönüne ait akma yüzeyi diagramı (kN-m)

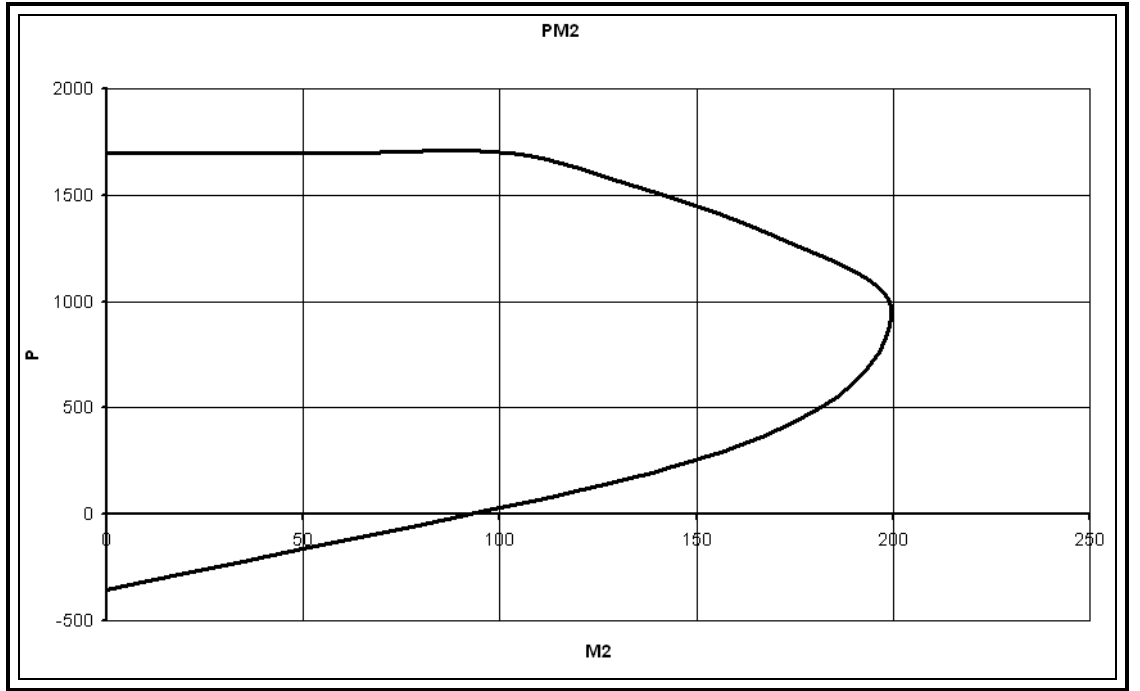


**Şekil A.10** 3,4,5 ve 6. katlardaki 100/20 boyutundaki kolonun zayıf yönüne ait akma yüzeyi diagramı (kN-m)

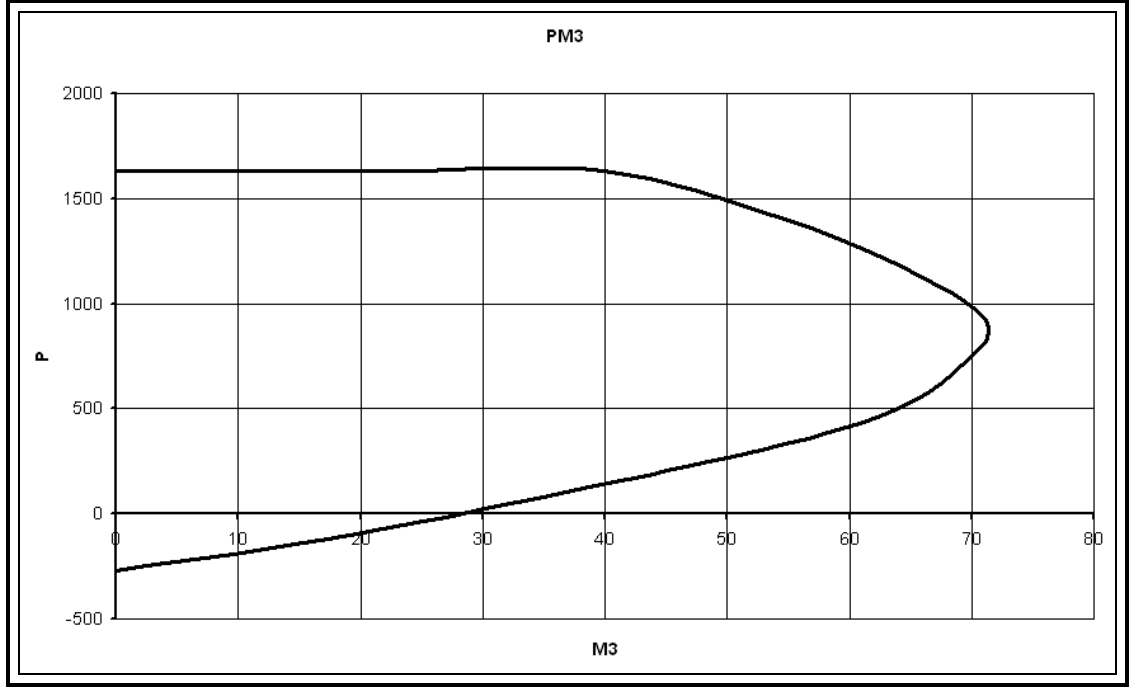




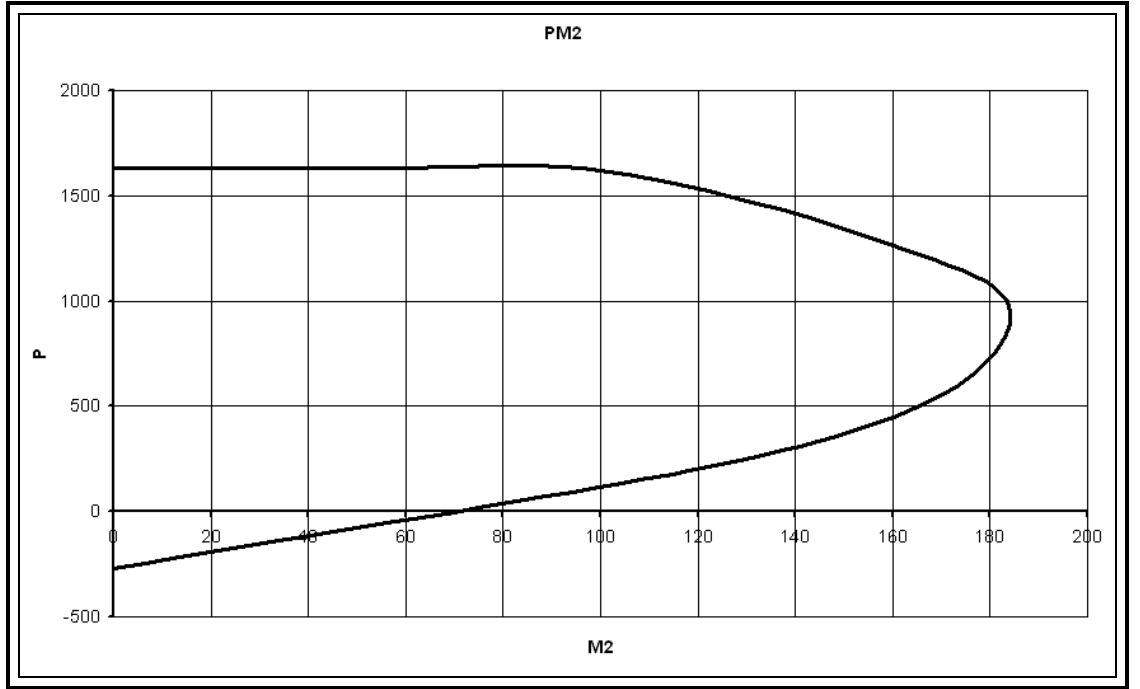
**Şekil A.11** Zemin-1.katlardaki 60/25 boyutundaki kolonun zayıf yönüne ait akma yüzeyi diagramı (kN-m)



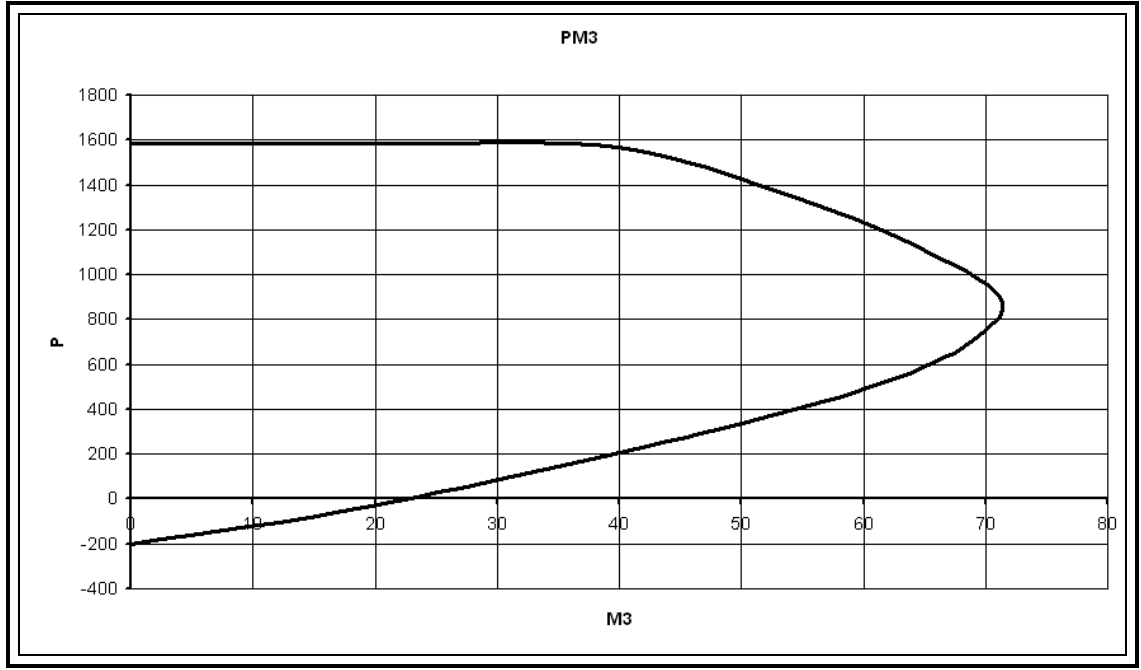
**Şekil A.12** Zemin-1.katlardaki 60/25 boyutundaki kolonun güçlü yönüne ait akma yüzeyi diagramı (kN-m)



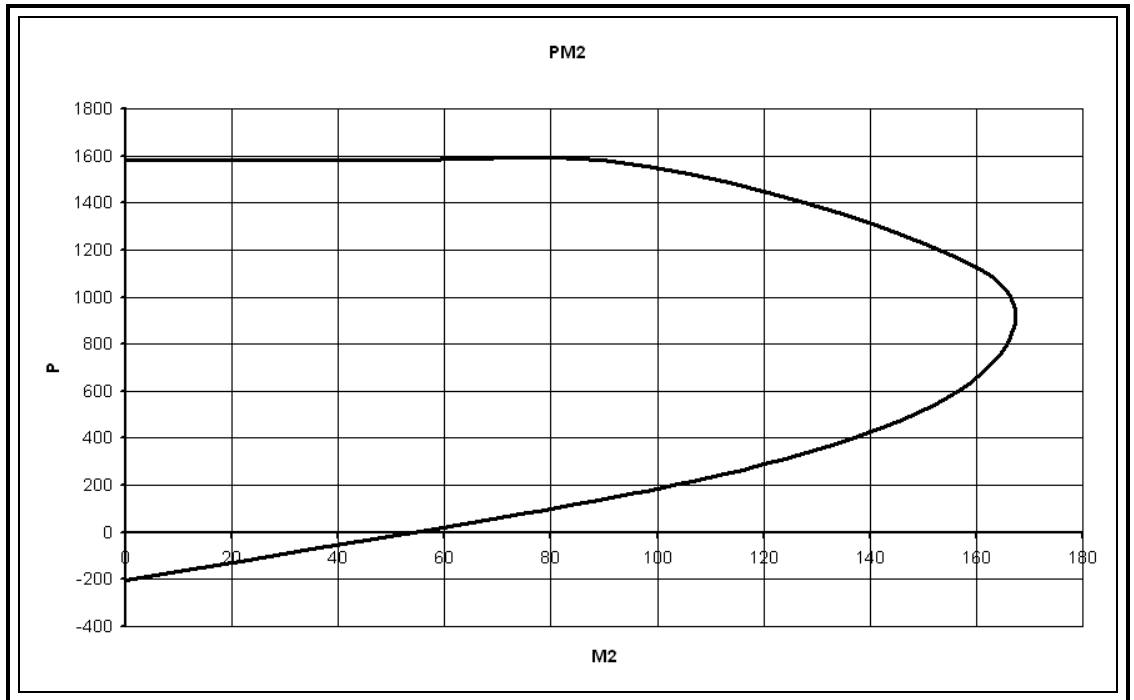
**Şekil A.13** 2. ve 3. katlardaki 60/25 boyutundaki kolonun zayıf yönüne ait akma yüzeyi diagramı (kN-m)



**Şekil A.14** 2. ve 3. katlardaki 60/25 boyutundaki kolonun güçlü yönüne ait akma yüzeyi diagramı (kN-m)

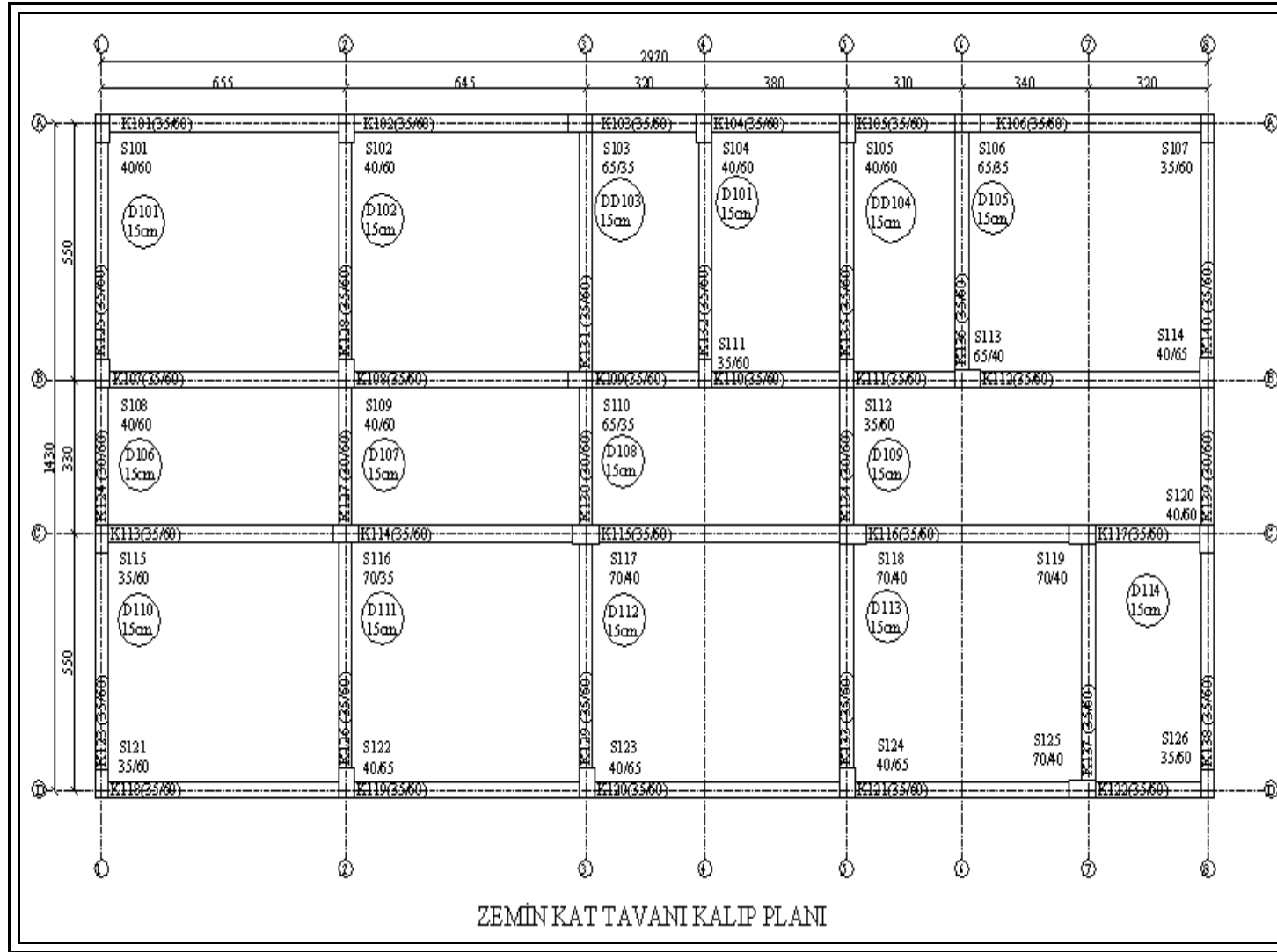


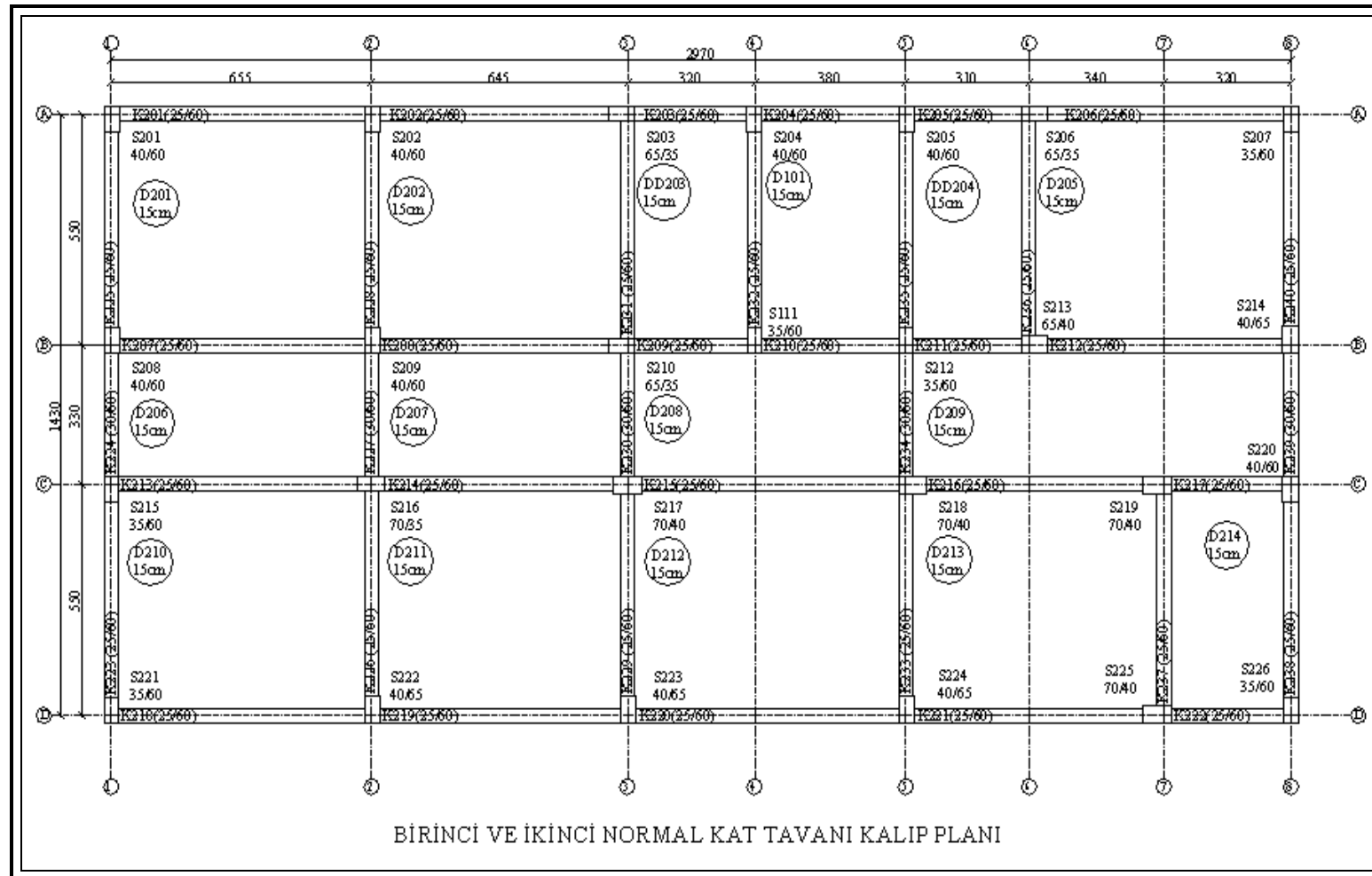
**Şekil A.15** 4. ve 5. katlardaki 60/25 boyutundaki kolonun zayıf yönüne ait akma yüzeyi diagramı (kN-m)

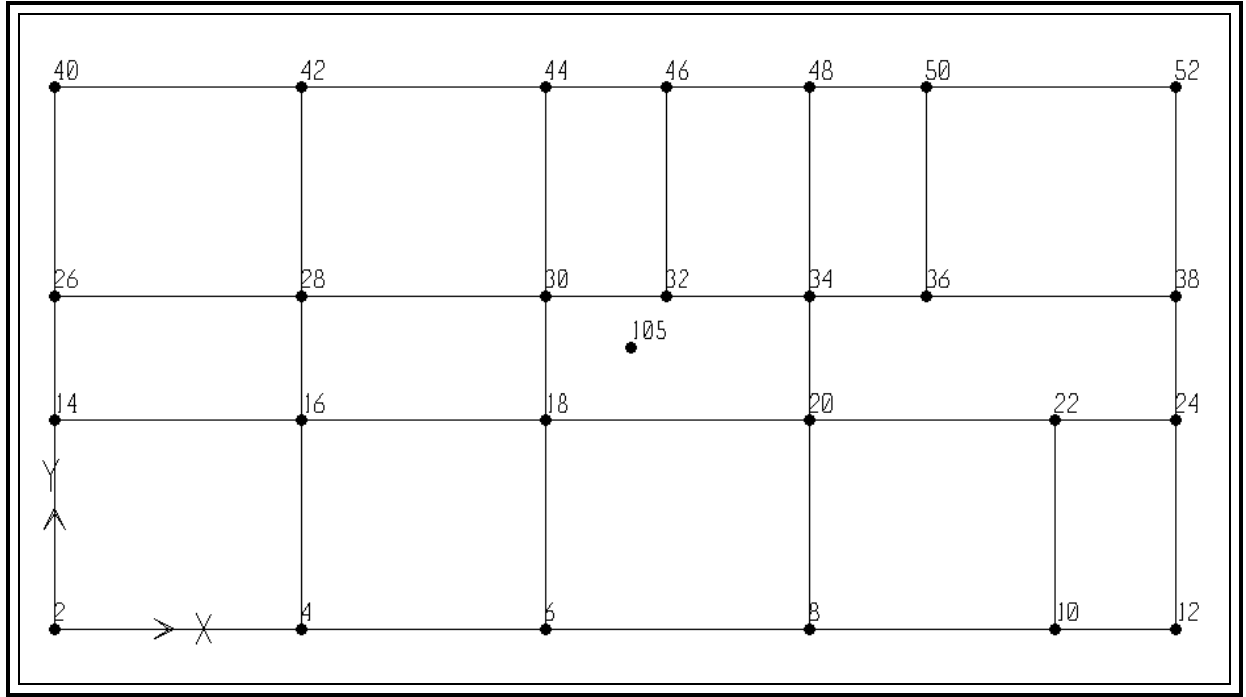


**Şekil A.16** 4. ve 5. katlardaki 60/25 boyutundaki kolonun güçlü yönüne ait akma yüzeyi diagramı (kN-m)









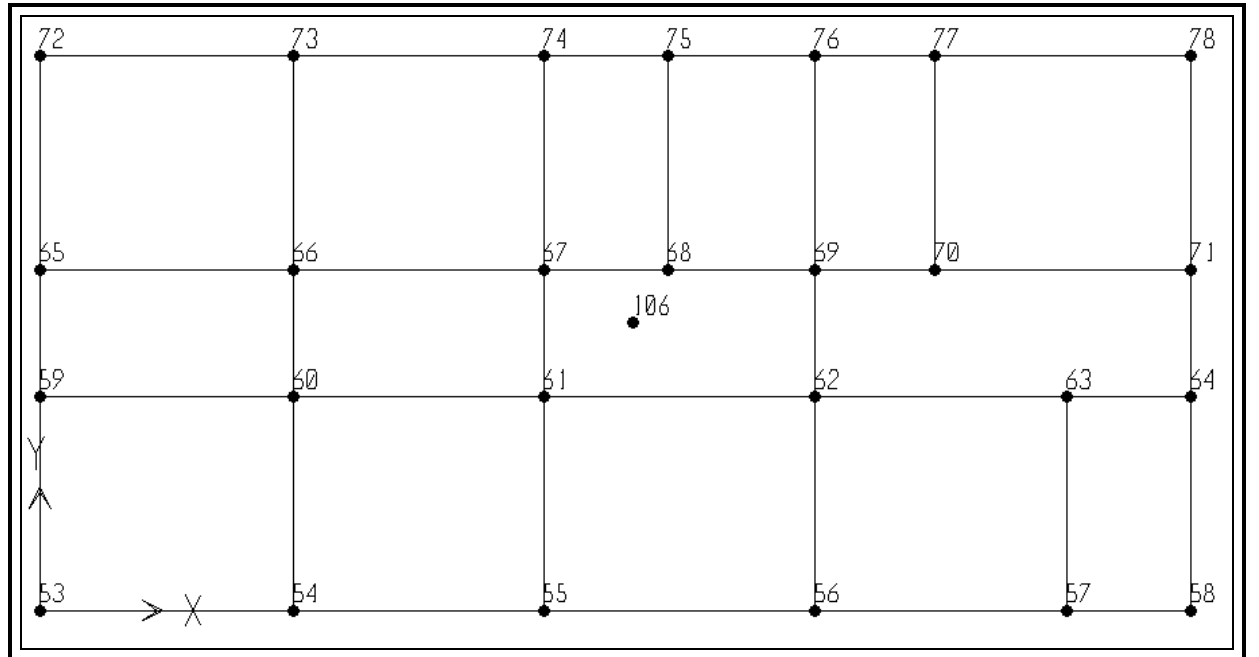
**Şekil B.3** Zemin Kat Tavanı Sap2000 Modeli Düğüm Nokta Numaraları

**Tablo B.1** Zemin Kat Tavanı XZ Düzlemi Kirişleri Donatıları

| Çerçeve Düzlemi | Kat No: | Düğüm No: | As üst(cm2) | As alt(cm2) | 2Φ mon üst(cm) | Φ üst(cm) | As gerekli üst | Φ alt(cm) | As gerekli alt |
|-----------------|---------|-----------|-------------|-------------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|
| XZ (Y=0 m)      | 1       | 2         | 14,66       | 8,42        | 2              | 2         | 3              | 2         | 3              |
| XZ (Y=0 m)      | 1       | 4         | 18,97       | 10          | 2              | 2         | 5              | 2         | 4              |
| XZ (Y=0 m)      | 1       | 6         | 17,51       | 10,36       | 2              | 2         | 4              | 2         | 4              |
| XZ (Y=0 m)      | 1       | 8         | 19,32       | 11,36       | 2              | 2         | 5              | 2         | 4              |
| XZ (Y=0 m)      | 1       | 10        | 19,84       | 14,81       | 2              | 2         | 5              | 2         | 5              |
| XZ (Y=0 m)      | 1       | 12        | 14,66       | 13,12       | 2              | 2         | 3              | 2         | 5              |
| XZ (Y=5,5 m)    | 1       | 14        | 18,72       | 11,26       | 2,2            | 2,2       | 3              | 2,2       | 3              |
| XZ (Y=5,5 m)    | 1       | 16        | 31,22       | 14,66       | 2,2            | 2,2       | 7              | 2,2       | 4              |
| XZ (Y=5,5 m)    | 1       | 18        | 33,02       | 14,66       | 2,2            | 2,2       | 7              | 2,2       | 4              |
| XZ (Y=5,5 m)    | 1       | 20        | 33,34       | 14,66       | 2,2            | 2,2       | 7              | 2,2       | 4              |
| XZ (Y=5,5 m)    | 1       | 22        | 29,02       | 14,95       | 2,2            | 2,2       | 6              | 2,2       | 4              |
| XZ (Y=5,5 m)    | 1       | 24        | 16          | 14,66       | 2,2            | 2,2       | 3              | 2,2       | 4              |
| XZ (Y=8,8 m)    | 1       | 26        | 20,64       | 12,45       | 2              | 2,2       | 4              | 2,2       | 4              |
| XZ (Y=8,8 m)    | 1       | 28        | 25,8        | 13,94       | 2              | 2,2       | 6              | 2,2       | 4              |
| XZ (Y=8,8 m)    | 1       | 30        | 22,89       | 13,7        | 2              | 2,2       | 5              | 2,2       | 4              |
| XZ (Y=8,8 m)    | 1       | 32        | 14,66       | 7,09        | 2              | 2,2       | 3              | 2,2       | 2              |
| XZ (Y=8,8 m)    | 1       | 34        | 13,53       | 8,93        | 2              | 2,2       | 2              | 2,2       | 3              |
| XZ (Y=8,8 m)    | 1       | 36        | 29,52       | 14,66       | 2              | 2,2       | 7              | 2,2       | 4              |
| XZ (Y=8,8 m)    | 1       | 38        | 23,83       | 14,13       | 2              | 2,2       | 5              | 2,2       | 4              |
| XZ (Y=14,3 m)   | 1       | 40        | 16,35       | 10,15       | 2              | 2         | 4              | 2         | 4              |
| XZ (Y=14,3 m)   | 1       | 42        | 18,14       | 11,17       | 2              | 2         | 4              | 2         | 4              |
| XZ (Y=14,3 m)   | 1       | 44        | 17,57       | 14,66       | 2              | 2         | 4              | 2         | 5              |
| XZ (Y=14,3 m)   | 1       | 46        | 14,66       | 11,4        | 2              | 2         | 3              | 2         | 4              |
| XZ (Y=14,3 m)   | 1       | 48        | 14,66       | 11,48       | 2              | 2         | 3              | 2         | 4              |
| XZ (Y=14,3 m)   | 1       | 50        | 20,39       | 14,66       | 2              | 2         | 5              | 2         | 5              |
| XZ (Y=14,3 m)   | 1       | 52        | 15,44       | 9,63        | 2              | 2         | 3              | 2         | 4              |

**Tablo B.2** Zemin Kat Tavanı YZ Düzlemi Kirişleri Donatıları

| Çerçeve Düzlemi | Kat No: | Düğüm No: | As üst(cm <sup>2</sup> ) | As alt(cm <sup>2</sup> ) | 2Φ mon üst(cm) | As gerekli üst | Φ üst(cm) | As gerekli alt | Φ alt(cm) |
|-----------------|---------|-----------|--------------------------|--------------------------|----------------|----------------|-----------|----------------|-----------|
| YZ (X=0 m)      | 1       | 2         | 23,02                    | 15,47                    | 2              | 5              | 2,2       | 5              | 2         |
| YZ (X=0 m)      | 1       | 14        | 21,11                    | 14,66                    | 2              | 4              | 2,2       | 5              | 2         |
| YZ (X=0 m)      | 1       | 26        | 21,94                    | 14,66                    | 2              | 5              | 2,2       | 5              | 2         |
| YZ (X=0 m)      | 1       | 40        | 25,6                     | 15,96                    | 2              | 6              | 2,2       | 6              | 2         |
| YZ (X=6,55 m)   | 1       | 4         | 27,32                    | 13,83                    | 2              | 6              | 2,2       | 5              | 2         |
| YZ (X=6,55 m)   | 1       | 16        | 17,75                    | 9,58                     | 2              | 4              | 2,2       | 4              | 2         |
| YZ (X=6,55 m)   | 1       | 28        | 25,02                    | 14,66                    | 2              | 5              | 2,2       | 5              | 2         |
| YZ (X=6,55 m)   | 1       | 42        | 29,32                    | 15,16                    | 2              | 7              | 2,2       | 5              | 2         |
| YZ (X=13 m)     | 1       | 6         | 26,4                     | 14,66                    | 2              | 6              | 2,2       | 5              | 2         |
| YZ (X=13 m)     | 1       | 18        | 19,96                    | 11,66                    | 2              | 4              | 2,2       | 4              | 2         |
| YZ (X=13 m)     | 1       | 30        | 15,28                    | 9,29                     | 2              | 3              | 2,2       | 3              | 2         |
| YZ (X=13 m)     | 1       | 44        | 15,95                    | 9,61                     | 2              | 3              | 2,2       | 4              | 2         |
| YZ (X=16,2 m)   | 1       | 32        | 22,34                    | 13,53                    | 2              | 5              | 2,2       | 5              | 2         |
| YZ (X=16,2 m)   | 1       | 46        | 25,38                    | 12,35                    | 2              | 6              | 2,2       | 4              | 2         |
| YZ (X=20 m)     | 1       | 8         | 26,57                    | 14,66                    | 2              | 6              | 2,2       | 5              | 2         |
| YZ (X=20 m)     | 1       | 20        | 19,56                    | 11,89                    | 2              | 4              | 2,2       | 4              | 2         |
| YZ (X=20 m)     | 1       | 34        | 21,44                    | 13,04                    | 2              | 4              | 2,2       | 5              | 2         |
| YZ (X=20 m)     | 1       | 48        | 24,54                    | 12,67                    | 2              | 5              | 2,2       | 5              | 2         |
| YZ (X=23,1 m)   | 1       | 36        | 19,55                    | 11,95                    | 2              | 4              | 2,2       | 4              | 2         |
| YZ (X=23,1 m)   | 1       | 50        | 18,05                    | 11,11                    | 2              | 4              | 2,2       | 4              | 2         |
| YZ (X=26,5 m)   | 1       | 10        | 22,84                    | 13,61                    | 2              | 5              | 2,2       | 5              | 2         |
| YZ (X=26,5 m)   | 1       | 22        | 22                       | 12,22                    | 2              | 5              | 2,2       | 4              | 2         |
| YZ (X=29,7 m)   | 1       | 12        | 21,3                     | 14,96                    | 2              | 4              | 2,2       | 5              | 2         |
| YZ (X=29,7 m)   | 1       | 24        | 20,2                     | 14,66                    | 2              | 4              | 2,2       | 5              | 2         |
| YZ (X=29,7 m)   | 1       | 38        | 22,51                    | 14,73                    | 2              | 5              | 2,2       | 5              | 2         |
| YZ (X=29,7 m)   | 1       | 52        | 22,82                    | 15,32                    | 2              | 5              | 2,2       | 5              | 2         |



**Şekil B.4** 1. Normal Kat Tavanı Sap2000 Modeli Düğüm Nokta Numaraları

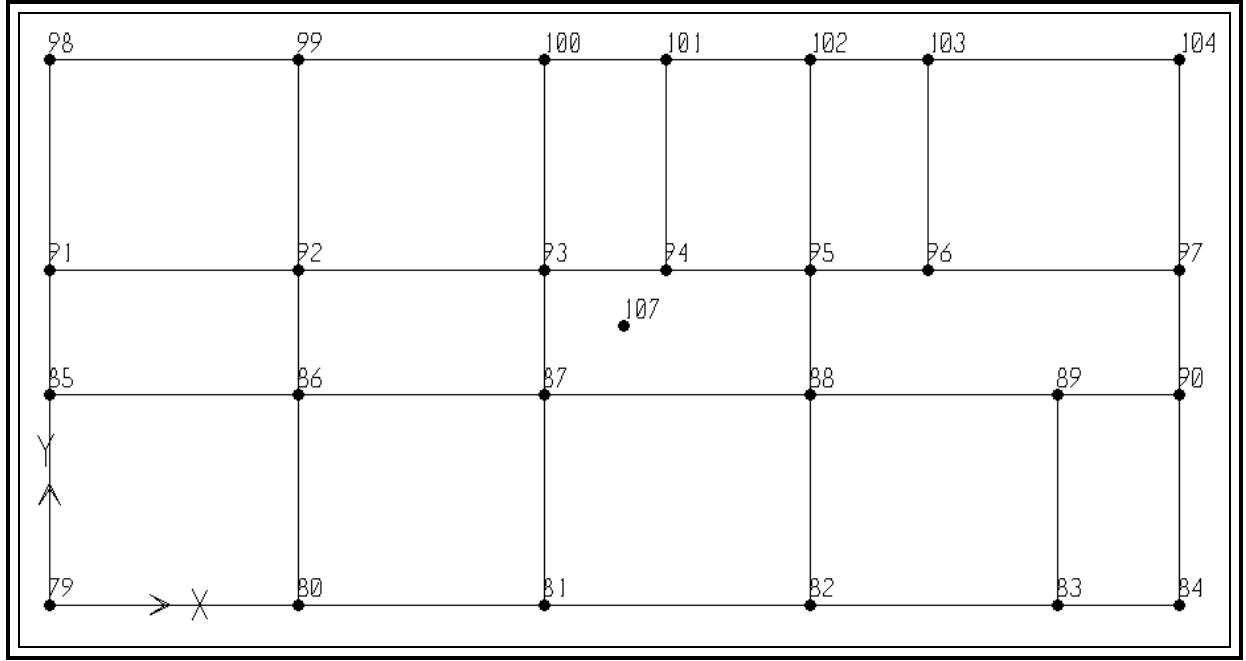


**Tablo B.3** 1. Normal Kat Tavanı XZ Düzlemi Kirişleri Donatıları

| Çerçeve Düzlemi | Kat No: | Düğüm No: | As üst(cm2) | As alt(cm2) | 2Φ mon üst(cm) | Φ üst(cm) | As gerekli üst | Φ alt(cm) | As gerekli alt |
|-----------------|---------|-----------|-------------|-------------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|
| XZ (Y=0 m)      | 2       | 53        | 12,58       | 6,07        | 1,6            | 2         | 3              | 1,6       | 4              |
| XZ (Y=0 m)      | 2       | 54        | 14,23       | 7,52        | 1,6            | 2         | 4              | 1,6       | 4              |
| XZ (Y=0 m)      | 2       | 55        | 14,84       | 8,45        | 1,6            | 2         | 4              | 1,6       | 5              |
| XZ (Y=0 m)      | 2       | 56        | 14,57       | 8,44        | 1,6            | 2         | 4              | 1,6       | 5              |
| XZ (Y=0 m)      | 2       | 57        | 13,94       | 8,33        | 1,6            | 2         | 4              | 1,6       | 5              |
| XZ (Y=0 m)      | 2       | 58        | 10,47       | 6,86        | 1,6            | 2         | 3              | 1,6       | 4              |
| XZ (Y=5,5 m)    | 2       | 59        | 17,97       | 9,04        | 2              | 2,2       | 4              | 2         | 3              |
| XZ (Y=5,5 m)    | 2       | 60        | 22,65       | 10,47       | 2              | 2,2       | 5              | 2         | 4              |
| XZ (Y=5,5 m)    | 2       | 61        | 25,35       | 10,53       | 2              | 2,2       | 6              | 2         | 4              |
| XZ (Y=5,5 m)    | 2       | 62        | 24,84       | 10,47       | 2              | 2,2       | 5              | 2         | 4              |
| XZ (Y=5,5 m)    | 2       | 63        | 20,8        | 9,18        | 2              | 2,2       | 4              | 2         | 3              |
| XZ (Y=5,5 m)    | 2       | 64        | 11,43       | 9,32        | 2              | 2,2       | 2              | 2         | 3              |
| XZ (Y=8,8 m)    | 2       | 65        | 19,5        | 10,47       | 2              | 2,2       | 4              | 2         | 4              |
| XZ (Y=8,8 m)    | 2       | 66        | 21,07       | 10,47       | 2              | 2,2       | 4              | 2         | 4              |
| XZ (Y=8,8 m)    | 2       | 67        | 18,86       | 9,54        | 2              | 2,2       | 4              | 2         | 4              |
| XZ (Y=8,8 m)    | 2       | 68        | 10,47       | 5,77        | 2              | 2,2       | 2              | 2         | 2              |
| XZ (Y=8,8 m)    | 2       | 69        | 10,47       | 5,12        | 2              | 2,2       | 2              | 2         | 2              |
| XZ (Y=8,8 m)    | 2       | 70        | 21,57       | 10,47       | 2              | 2,2       | 5              | 2         | 4              |
| XZ (Y=8,8 m)    | 2       | 71        | 20,21       | 9,71        | 2              | 2,2       | 4              | 2         | 4              |
| XZ (Y=14,3 m)   | 2       | 72        | 13,45       | 6,6         | 1,6            | 2         | 4              | 1,6       | 4              |
| XZ (Y=14,3 m)   | 2       | 73        | 13,5        | 6,99        | 1,6            | 2         | 4              | 1,6       | 4              |
| XZ (Y=14,3 m)   | 2       | 74        | 13,35       | 8,18        | 1,6            | 2         | 3              | 1,6       | 5              |
| XZ (Y=14,3 m)   | 2       | 75        | 10,47       | 5,94        | 1,6            | 2         | 3              | 1,6       | 3              |
| XZ (Y=14,3 m)   | 2       | 76        | 10,47       | 5,54        | 1,6            | 2         | 3              | 1,6       | 3              |
| XZ (Y=14,3 m)   | 2       | 77        | 14,45       | 8,76        | 1,6            | 2         | 4              | 1,6       | 5              |
| XZ (Y=14,3 m)   | 2       | 78        | 12,93       | 7,92        | 1,6            | 2         | 3              | 1,6       | 4              |

**Tablo B.4** 1. Normal Kat Tavanı YZ Düzlemi Kirişleri Donatıları

| Çerçeve Düzlemi | Kat No: | Düğüm No: | As üst(cm2) | As alt(cm2) | 2Φ mon üst(cm) | As gerekli üst | Φ üst(cm) | As gerekli alt | Φ alt(cm) |
|-----------------|---------|-----------|-------------|-------------|----------------|----------------|-----------|----------------|-----------|
| YZ (X=0 m)      | 2       | 53        | 14,56       | 7,06        | 2              | 3              | 2         | 3              | 2         |
| YZ (X=0 m)      | 2       | 59        | 13,59       | 11,46       | 2              | 3              | 2         | 4              | 2         |
| YZ (X=0 m)      | 2       | 65        | 13,13       | 9,89        | 2              | 3              | 2         | 4              | 2         |
| YZ (X=0 m)      | 2       | 72        | 15,97       | 7,76        | 2              | 4              | 2         | 3              | 2         |
| YZ (X=6,55 m)   | 2       | 54        | 18,72       | 10,47       | 2              | 4              | 2         | 4              | 2         |
| YZ (X=6,55 m)   | 2       | 60        | 13,2        | 7,25        | 2              | 3              | 2         | 3              | 2         |
| YZ (X=6,55 m)   | 2       | 66        | 15,64       | 10,16       | 2              | 3              | 2         | 4              | 2         |
| YZ (X=6,55 m)   | 2       | 73        | 20,4        | 10,47       | 2              | 5              | 2         | 4              | 2         |
| YZ (X=13 m)     | 2       | 55        | 17,82       | 10,19       | 2              | 4              | 2         | 4              | 2         |
| YZ (X=13 m)     | 2       | 61        | 14,43       | 8,45        | 2              | 3              | 2         | 3              | 2         |
| YZ (X=13 m)     | 2       | 67        | 12,56       | 6,78        | 2              | 2              | 2         | 3              | 2         |
| YZ (X=13 m)     | 2       | 74        | 14,34       | 7,37        | 2              | 3              | 2         | 3              | 2         |
| YZ (X=16,2 m)   | 2       | 68        | 14,42       | 8,76        | 2              | 3              | 2         | 3              | 2         |
| YZ (X=16,2 m)   | 2       | 75        | 17,41       | 10,35       | 2              | 4              | 2         | 4              | 2         |
| YZ (X=20 m)     | 2       | 56        | 18,06       | 10,47       | 2              | 4              | 2         | 4              | 2         |
| YZ (X=20 m)     | 2       | 62        | 14,23       | 9,25        | 2              | 3              | 2         | 3              | 2         |
| YZ (X=20 m)     | 2       | 69        | 14,29       | 8,69        | 2              | 3              | 2         | 3              | 2         |
| YZ (X=20 m)     | 2       | 76        | 17,18       | 10,23       | 2              | 4              | 2         | 4              | 2         |
| YZ (X=23,1 m)   | 2       | 70        | 15,11       | 9,11        | 2              | 3              | 2         | 3              | 2         |
| YZ (X=23,1 m)   | 2       | 77        | 15,28       | 6,95        | 2              | 3              | 2         | 3              | 2         |
| YZ (X=26,5 m)   | 2       | 57        | 17,26       | 10,17       | 2              | 4              | 2         | 4              | 2         |
| YZ (X=26,5 m)   | 2       | 63        | 16,18       | 9,61        | 2              | 4              | 2         | 4              | 2         |
| YZ (X=29,7 m)   | 2       | 58        | 13,23       | 8,1         | 2              | 3              | 2         | 3              | 2         |
| YZ (X=29,7 m)   | 2       | 64        | 12,92       | 11,47       | 2              | 3              | 2         | 4              | 2         |
| YZ (X=29,7 m)   | 2       | 71        | 13,58       | 12,56       | 2              | 3              | 2         | 4              | 2         |
| YZ (X=29,7 m)   | 2       | 78        | 14,46       | 8,78        | 2              | 3              | 2         | 3              | 2         |



**Şekil B.5 2.** Normal Kat Tavanı Sap2000 Modeli Düğüm Nokta Numaraları

**Tablo B.5 2.** Normal Kat Tavanı XZ Düzlemi Kirişleri Donatıları

| Çerçeve Düzlemi | Kat No: | Düğüm No: | As üst(cm <sup>2</sup> ) | As alt(cm <sup>2</sup> ) | 2Φ mon üst(cm) | Φ üst(cm) | As gerekli üst | Φ alt(cm) | As gerekli alt |
|-----------------|---------|-----------|--------------------------|--------------------------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|
| XZ (Y=0 m)      | 3       | 79        | 7,53                     | 3,64                     | 1,4            | 1,6       | 3              | 1,4       | 3              |
| XZ (Y=0 m)      | 3       | 80        | 10,47                    | 5,65                     | 1,4            | 1,6       | 4              | 1,4       | 4              |
| XZ (Y=0 m)      | 3       | 81        | 10,47                    | 6,03                     | 1,4            | 1,6       | 4              | 1,4       | 4              |
| XZ (Y=0 m)      | 3       | 82        | 10,47                    | 6,05                     | 1,4            | 1,6       | 4              | 1,4       | 4              |
| XZ (Y=0 m)      | 3       | 83        | 8,48                     | 4,08                     | 1,4            | 1,6       | 3              | 1,4       | 3              |
| XZ (Y=0 m)      | 3       | 84        | 4,01                     | 1,97                     | 1,4            | 1,6       | 1              | 1,4       | 2              |
| XZ (Y=5,5 m)    | 3       | 85        | 10,47                    | 5,09                     | 1,4            | 1,6       | 4              | 1,4       | 4              |
| XZ (Y=5,5 m)    | 3       | 86        | 12,99                    | 7,91                     | 1,4            | 1,6       | 5              | 1,4       | 6              |
| XZ (Y=5,5 m)    | 3       | 87        | 15,32                    | 9,18                     | 1,4            | 2         | 4              | 1,4       | 6              |
| XZ (Y=5,5 m)    | 3       | 88        | 15,25                    | 9,14                     | 1,4            | 2         | 4              | 1,4       | 6              |
| XZ (Y=5,5 m)    | 3       | 89        | 11,06                    | 5,69                     | 1,4            | 1,6       | 4              | 1,4       | 4              |
| XZ (Y=5,5 m)    | 3       | 90        | 5,76                     | 2,8                      | 1,4            | 1,6       | 2              | 1,4       | 2              |
| XZ (Y=8,8 m)    | 3       | 91        | 10,47                    | 6,1                      | 1,4            | 1,6       | 4              | 1,4       | 4              |
| XZ (Y=8,8 m)    | 3       | 92        | 13,28                    | 8,07                     | 1,4            | 2         | 4              | 1,4       | 6              |
| XZ (Y=8,8 m)    | 3       | 93        | 10,47                    | 5,71                     | 1,4            | 2         | 3              | 1,4       | 4              |
| XZ (Y=8,8 m)    | 3       | 94        | 6,98                     | 3,38                     | 1,4            | 1,6       | 2              | 1,4       | 3              |
| XZ (Y=8,8 m)    | 3       | 95        | 5,55                     | 2,71                     | 1,4            | 1,6       | 2              | 1,4       | 2              |
| XZ (Y=8,8 m)    | 3       | 96        | 11,4                     | 6,68                     | 1,4            | 2         | 3              | 1,4       | 5              |
| XZ (Y=8,8 m)    | 3       | 97        | 10,47                    | 5,65                     | 1,4            | 1,6       | 4              | 1,4       | 4              |
| XZ (Y=14,3 m)   | 3       | 98        | 8,56                     | 4,11                     | 1,4            | 1,6       | 3              | 1,4       | 3              |
| XZ (Y=14,3 m)   | 3       | 99        | 10,47                    | 5,29                     | 1,4            | 1,6       | 4              | 1,4       | 4              |
| XZ (Y=14,3 m)   | 3       | 100       | 8,02                     | 3,87                     | 1,4            | 1,6       | 3              | 1,4       | 3              |
| XZ (Y=14,3 m)   | 3       | 101       | 5,63                     | 2,19                     | 1,4            | 1,6       | 2              | 1,4       | 2              |
| XZ (Y=14,3 m)   | 3       | 102       | 5,62                     | 2,75                     | 1,4            | 1,6       | 2              | 1,4       | 2              |
| XZ (Y=14,3 m)   | 3       | 103       | 9,56                     | 4,57                     | 1,4            | 1,6       | 4              | 1,4       | 3              |
| XZ (Y=14,3 m)   | 3       | 104       | 6,82                     | 3,3                      | 1,4            | 1,6       | 2              | 1,4       | 3              |

**Tablo B.6 2. Normal Kat Tavanı YZ Düzlemi Kirişleri Donatıları**

| Çerçeve Düzlemi | Kat No: | Düğüm No: | As üst(cm <sup>2</sup> ) | As alt(cm <sup>2</sup> ) | 2Φ mon üst(cm) | As gerekli üst | Φ üst(cm) | As gerekli alt | Φ alt(cm) |
|-----------------|---------|-----------|--------------------------|--------------------------|----------------|----------------|-----------|----------------|-----------|
| YZ (X=0 m)      | 3       | 79        | 7,65                     | 3,69                     | 1,4            | 3              | 1,6       | 2              | 1,6       |
| YZ (X=0 m)      | 3       | 85        | 6,84                     | 4,05                     | 1,4            | 2              | 1,6       | 3              | 1,6       |
| YZ (X=0 m)      | 3       | 91        | 6,53                     | 3,17                     | 1,4            | 2              | 1,6       | 2              | 1,6       |
| YZ (X=0 m)      | 3       | 98        | 8,7                      | 4,18                     | 1,4            | 3              | 1,6       | 3              | 1,6       |
| YZ (X=6,55 m)   | 3       | 80        | 10,47                    | 4,98                     | 1,4            | 4              | 1,6       | 3              | 1,6       |
| YZ (X=6,55 m)   | 3       | 86        | 6,77                     | 3,27                     | 1,4            | 2              | 1,6       | 2              | 1,6       |
| YZ (X=6,55 m)   | 3       | 92        | 8,82                     | 4,22                     | 1,4            | 3              | 1,6       | 3              | 1,6       |
| YZ (X=6,55 m)   | 3       | 99        | 10,22                    | 4,85                     | 1,4            | 4              | 1,6       | 3              | 1,6       |
| YZ (X=13 m)     | 3       | 81        | 9,51                     | 4,53                     | 1,4            | 4              | 1,6       | 3              | 1,6       |
| YZ (X=13 m)     | 3       | 87        | 7,4                      | 3,57                     | 1,4            | 3              | 1,6       | 2              | 1,6       |
| YZ (X=13 m)     | 3       | 93        | 8,15                     | 3,92                     | 1,4            | 3              | 1,6       | 2              | 1,6       |
| YZ (X=13 m)     | 3       | 100       | 8,31                     | 4                        | 1,4            | 3              | 1,6       | 2              | 1,6       |
| YZ (X=16,2 m)   | 3       | 94        | 8,22                     | 3,95                     | 1,4            | 3              | 1,6       | 2              | 1,6       |
| YZ (X=16,2 m)   | 3       | 101       | 8,6                      | 4,13                     | 1,4            | 3              | 1,6       | 3              | 1,6       |
| YZ (X=20 m)     | 3       | 82        | 9,69                     | 4,62                     | 1,4            | 4              | 1,6       | 3              | 1,6       |
| YZ (X=20 m)     | 3       | 88        | 9,29                     | 3,34                     | 1,4            | 4              | 1,6       | 2              | 1,6       |
| YZ (X=20 m)     | 3       | 95        | 9,33                     | 4,51                     | 1,4            | 4              | 1,6       | 3              | 1,6       |
| YZ (X=20 m)     | 3       | 102       | 10,47                    | 3,89                     | 1,4            | 4              | 1,6       | 2              | 1,6       |
| YZ (X=23,1 m)   | 3       | 96        | 7,05                     | 3,41                     | 1,4            | 2              | 1,6       | 2              | 1,6       |
| YZ (X=23,1 m)   | 3       | 103       | 7,85                     | 3,78                     | 1,4            | 3              | 1,6       | 2              | 1,6       |
| YZ (X=26,5 m)   | 3       | 83        | 8,61                     | 4,12                     | 1,4            | 3              | 1,6       | 3              | 1,6       |
| YZ (X=26,5 m)   | 3       | 89        | 9,86                     | 4,69                     | 1,4            | 4              | 1,6       | 3              | 1,6       |
| YZ (X=29,7 m)   | 3       | 84        | 8,36                     | 4,02                     | 1,4            | 3              | 1,6       | 3              | 1,6       |
| YZ (X=29,7 m)   | 3       | 90        | 8,25                     | 3,97                     | 1,4            | 3              | 1,6       | 2              | 1,6       |
| YZ (X=29,7 m)   | 3       | 97        | 8,71                     | 5,19                     | 1,4            | 3              | 1,6       | 3              | 1,6       |
| YZ (X=29,7 m)   | 3       | 104       | 9,25                     | 4,43                     | 1,4            | 4              | 1,6       | 3              | 1,6       |

**Tablo B.7** Birinci Kat Kolonları Donatı ve Boyutları

| KOLON<br>NO: | BOYUTLAR: |       | DONATI: |
|--------------|-----------|-------|---------|
|              | b (m)     | h (m) |         |
| S101         | 0,4       | 0,6   | 16Φ18   |
| S102         | 0,4       | 0,6   | 16Φ16   |
| S103         | 0,65      | 0,35  | 16Φ18   |
| S104         | 0,4       | 0,6   | 16Φ16   |
| S105         | 0,4       | 0,6   | 16Φ16   |
| S106         | 0,65      | 0,35  | 16Φ18   |
| S107         | 0,35      | 0,6   | 16Φ16   |
| S108         | 0,4       | 0,6   | 16Φ18   |
| S109         | 0,4       | 0,6   | 16Φ16   |
| S110         | 0,65      | 0,35  | 16Φ16   |
| S111         | 0,35      | 0,6   | 16Φ14   |
| S112         | 0,35      | 0,6   | 16Φ16   |
| S113         | 0,65      | 0,4   | 16Φ18   |
| S114         | 0,4       | 0,65  | 16Φ20   |
| S115         | 0,35      | 0,6   | 16Φ18   |
| S116         | 0,7       | 0,35  | 16Φ16   |
| S117         | 0,7       | 0,4   | 16Φ18   |
| S118         | 0,7       | 0,4   | 16Φ18   |
| S119         | 0,7       | 0,4   | 16Φ20   |
| S120         | 0,4       | 0,6   | 16Φ20   |
| S121         | 0,35      | 0,6   | 16Φ18   |
| S122         | 0,4       | 0,65  | 16Φ16   |
| S123         | 0,4       | 0,65  | 16Φ16   |
| S124         | 0,4       | 0,65  | 16Φ16   |
| S125         | 0,7       | 0,4   | 16Φ20   |
| S126         | 0,35      | 0,6   | 16Φ18   |

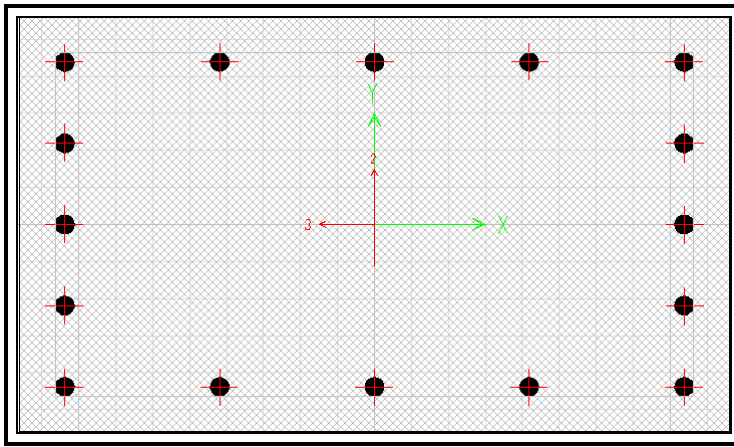
**Tablo B.8** İkinci Kat Kolonları Donatı ve Boyutları

| KOLON<br>NO: | BOYUTLAR: |       | DONATI: |
|--------------|-----------|-------|---------|
|              | b (m)     | h (m) |         |
| S201         | 0,4       | 0,6   | 16Φ14   |
| S202         | 0,4       | 0,6   | 16Φ14   |
| S203         | 0,65      | 0,35  | 16Φ14   |
| S204         | 0,4       | 0,6   | 16Φ14   |
| S205         | 0,4       | 0,6   | 16Φ14   |
| S206         | 0,65      | 0,35  | 16Φ14   |
| S207         | 0,35      | 0,6   | 16Φ14   |
| S208         | 0,4       | 0,6   | 16Φ16   |
| S209         | 0,4       | 0,6   | 16Φ14   |
| S210         | 0,65      | 0,35  | 16Φ14   |
| S211         | 0,35      | 0,6   | 16Φ14   |
| S212         | 0,35      | 0,6   | 16Φ14   |
| S213         | 0,65      | 0,4   | 16Φ16   |
| S214         | 0,4       | 0,65  | 16Φ16   |
| S215         | 0,35      | 0,6   | 16Φ16   |
| S216         | 0,7       | 0,35  | 16Φ14   |
| S217         | 0,7       | 0,4   | 16Φ16   |
| S218         | 0,7       | 0,4   | 16Φ16   |
| S219         | 0,7       | 0,4   | 16Φ16   |
| S220         | 0,4       | 0,6   | 16Φ14   |
| S221         | 0,35      | 0,6   | 16Φ14   |
| S222         | 0,4       | 0,65  | 16Φ16   |
| S223         | 0,4       | 0,65  | 16Φ16   |
| S224         | 0,4       | 0,65  | 16Φ16   |
| S225         | 0,7       | 0,4   | 16Φ16   |
| S226         | 0,35      | 0,6   | 16Φ14   |

**Tablo B.9** Üçüncü Kat Kolonları Donatı ve Boyutları

| KOLON<br>NO: | BOYUTLAR: |       | DONATI: |
|--------------|-----------|-------|---------|
|              | b (m)     | h (m) |         |
| S301         | 0,4       | 0,6   | 16Φ14   |
| S302         | 0,4       | 0,6   | 16Φ14   |
| S303         | 0,65      | 0,35  | 16Φ14   |
| S304         | 0,4       | 0,6   | 16Φ14   |
| S305         | 0,4       | 0,6   | 16Φ14   |
| S306         | 0,65      | 0,35  | 16Φ14   |
| S307         | 0,35      | 0,6   | 16Φ14   |
| S308         | 0,4       | 0,6   | 16Φ14   |
| S309         | 0,4       | 0,6   | 16Φ14   |
| S310         | 0,65      | 0,35  | 16Φ14   |
| S311         | 0,35      | 0,6   | 16Φ14   |
| S312         | 0,35      | 0,6   | 16Φ14   |
| S313         | 0,65      | 0,4   | 16Φ16   |
| S314         | 0,4       | 0,65  | 16Φ16   |
| S315         | 0,35      | 0,6   | 16Φ14   |
| S316         | 0,7       | 0,35  | 16Φ14   |
| S317         | 0,7       | 0,4   | 16Φ16   |
| S318         | 0,7       | 0,4   | 16Φ16   |
| S319         | 0,7       | 0,4   | 16Φ16   |
| S320         | 0,4       | 0,6   | 16Φ14   |
| S321         | 0,35      | 0,6   | 16Φ14   |
| S322         | 0,4       | 0,65  | 16Φ16   |
| S323         | 0,4       | 0,65  | 16Φ16   |
| S324         | 0,4       | 0,65  | 16Φ16   |
| S325         | 0,7       | 0,4   | 16Φ16   |
| S326         | 0,35      | 0,6   | 16Φ14   |

**OKUL BİNASI KOLON KARŞILIKLI ETKİ DİAGRAMI P-M2-M3  
DEĞERLERİ:**



**Şekil B.6** Boyutları 60/35,60/40 ve 65/40 olan kolonlarda 33 ve 22 lokal akslarının yönleri ve tipik donatı yerleşimi

**Tablo B.10** Boyutları 60/35 ve donatı miktarı 16 $\Phi$ 18 olan kolon elemanına ait karşılıklı etki diagramları P-M2 ve P-M3 değerleri

| P (kN)    | M3(kNm)  |
|-----------|----------|
| 1696      | 0        |
| 1696      | 38,4858  |
| 1660      | 62,6143  |
| 1435      | 86,9231  |
| 1174      | 111,2865 |
| 838,512   | 137,9432 |
| 563,311   | 143,3545 |
| 271,795   | 135,423  |
| -8,7695   | 116,6861 |
| -368,3016 | 74,3834  |
| -895,2768 | 0        |

| P (kN)   | M2(kNm)  |
|----------|----------|
| 1696     | 0        |
| 1696     | 74,674   |
| 1644     | 118,1964 |
| 1433     | 160,9427 |
| 1196     | 204,2077 |
| 892,0692 | 251,4442 |
| 614,0226 | 263,9196 |
| 341,9951 | 255,843  |
| 49,3596  | 224,2904 |
| -197,983 | 182,5912 |
| -895,277 | 0        |

**Tablo B.11** Boyutları 60/35 ve donatı miktarı 16Φ16 olan kolon elemanına ait karşılıklı etki diagramı P-M3 ve P-M2 değerleri:

| P (kN)   | M3(kNm)  |
|----------|----------|
| 1550     | 0        |
| 1550     | 34,4183  |
| 1526     | 56,4905  |
| 1326     | 78,0041  |
| 1097     | 98,8468  |
| 810,5796 | 120,7769 |
| 563,911  | 125,1307 |
| 305,4881 | 117,8711 |
| 54,11    | 100,8093 |
| -252,776 | 64,8763  |
| -707,52  | 0        |

| P (kN)   | M2(kNm)  |
|----------|----------|
| 1550     | 0        |
| 1550     | 65,35    |
| 1517     | 104,6707 |
| 1329     | 142,2991 |
| 1120     | 179,2508 |
| 859,1251 | 218,2437 |
| 608,7739 | 228,6411 |
| 363,7806 | 220,7359 |
| 101,6518 | 191,998  |
| -125,728 | 152,8733 |
| -707,52  | 0        |

**Tablo B.12** Boyutları 60/35 ve donatı miktarı 16Φ14 olan kolon elemanına ait karşılıklı etki diagramı P-M3 ve P-M2 değerleri:

| P (kN)   | M3(kNm)  |
|----------|----------|
| 1422     | 0        |
| 1422     | 30,7133  |
| 1409     | 50,9555  |
| 1230     | 69,9892  |
| 1030     | 87,7182  |
| 785,916  | 105,4816 |
| 564,2566 | 108,9038 |
| 334,4587 | 102,203  |
| 108,8328 | 86,6171  |
| -149,517 | 56,6107  |
| -542,08  | 0        |

| P (kN)   | M2(kNm)  |
|----------|----------|
| 1422     | 0        |
| 1422     | 56,998   |
| 1405     | 92,5989  |
| 1237     | 125,704  |
| 1054     | 157,086  |
| 830,0853 | 188,819  |
| 604,0655 | 197,3864 |
| 382,6096 | 189,5939 |
| 147,3767 | 163,3341 |
| -62,0307 | 126,5427 |
| -542,08  | 0        |



**Tablo B.13** Boyutları 60/40 ve donatı miktarı 16Φ20 olan kolon elemanına ait karşılıklı etki diagramı P-M3 ve P-M2 değerleri:

| P (kN)   | M3(kNm)  |
|----------|----------|
| 2003     | 0        |
| 2003     | 54,498   |
| 1950     | 87,1199  |
| 1687     | 120,5438 |
| 1382     | 154,4998 |
| 987,5426 | 192,0685 |
| 659,8033 | 200,3169 |
| 318,9729 | 190,7432 |
| -18,3008 | 165,5245 |
| -382,698 | 118,4285 |
| -1105,28 | 0        |

| P (kN)   | M2(kNm)  |
|----------|----------|
| 2003     | 0        |
| 2003     | 89,049   |
| 1934     | 140,6118 |
| 1683     | 191,6736 |
| 1400     | 243,8447 |
| 1032     | 301,4048 |
| 702,6396 | 316,4816 |
| 379,2993 | 306,9983 |
| 31,8485  | 269,6863 |
| -258,046 | 221,1385 |
| -1105,28 | 0        |

**Tablo B.14** Boyutları 60/40 ve donatı miktarı 16Φ18 olan kolon elemanına ait karşılıklı etki diagramı P-M3 ve P-M2 değerleri:

| P (kN)   | M3(kNm)  |
|----------|----------|
| 1839     | 0        |
| 1839     | 48,8616  |
| 1802     | 78,8056  |
| 1566     | 108,5947 |
| 1296     | 137,9939 |
| 954,9548 | 169,4844 |
| 658,9101 | 176,3356 |
| 353,4918 | 167,465  |
| 49,2161  | 144,3823 |
| -263,124 | 104,4295 |
| -895,277 | 0        |

| P (kN)   | M2(kNm)  |
|----------|----------|
| 1839     | 0        |
| 1839     | 78,7811  |
| 1792     | 125,6603 |
| 1566     | 171,013  |
| 1315     | 216,134  |
| 995,8641 | 264,4762 |
| 697,0585 | 277,2422 |
| 404,272  | 268,0077 |
| 90,8775  | 233,8487 |
| -177,224 | 188,0946 |
| -895,277 | 0        |

**Tablo B.15** Boyutları 60/40 ve donatı miktarı 16Φ16 olan kolon elemanına ait karşılıklı etki diagramı P-M3 ve P-M2 değerleri:

| P (kN)   | M3(kNm)  |
|----------|----------|
| 1693     | 0        |
| 1693     | 43,681   |
| 1671     | 71,2112  |
| 1458     | 97,7323  |
| 1220     | 123,0454 |
| 925,7484 | 149,1005 |
| 657,9172 | 154,7019 |
| 383,645  | 146,4201 |
| 108,9098 | 125,2463 |
| -161,27  | 90,982   |
| -707,52  | 0        |

| P (kN)   | M2(kNm)  |
|----------|----------|
| 1693     | 0        |
| 1693     | 69,4478  |
| 1665     | 112,1199 |
| 1462     | 152,3527 |
| 1239     | 191,1623 |
| 963,105  | 231,2666 |
| 691,9578 | 241,9668 |
| 426,1685 | 232,9107 |
| 143,2437 | 201,5682 |
| -104,932 | 158,3853 |
| -707,52  | 0        |

**Tablo B.16** Boyutları 60/40 ve donatı miktarı 16Φ14 olan kolon elemanına ait karşılıklı etki diagramı P-M3 ve P-M2 değerleri:

| P (kN)   | M3(kNm)  |
|----------|----------|
| 1564     | 0        |
| 1564     | 38,9889  |
| 1555     | 64,3742  |
| 1364     | 87,9995  |
| 1154     | 109,7025 |
| 900,0102 | 130,9688 |
| 656,9196 | 135,4708 |
| 409,6307 | 127,6738 |
| 160,9461 | 108,1815 |
| -75,921  | 78,309   |
| -542,08  | 0        |

| P (kN)   | M2(kNm)  |
|----------|----------|
| 1564     | 0        |
| 1564     | 61,0867  |
| 1554     | 100,0332 |
| 1371     | 135,741  |
| 1173     | 168,9828 |
| 934,2502 | 201,8326 |
| 687,3975 | 210,7151 |
| 445,1086 | 201,7787 |
| 189,0426 | 172,9162 |
| -41,1977 | 132,0631 |
| -542,08  | 0        |

**Tablo B.17** Boyutları 65/40 ve donatı miktarı 16Φ20 olan kolon elemanına ait karşılıklı etki diagramı P-M3 ve P-M2 değerleri:

| P (kN)   | M3(kNm)  |
|----------|----------|
| 2098     | 0        |
| 2098     | 56,4092  |
| 2048     | 90,5732  |
| 1774     | 125,1701 |
| 1459     | 159,9301 |
| 1054     | 197,9336 |
| 713,0884 | 206,202  |
| 358,9367 | 196,0518 |
| 8,3417   | 169,66   |
| -369,376 | 120,7945 |
| -1105,28 | 0        |

| P (kN)   | M2(kNm)  |
|----------|----------|
| 2098     | 0        |
| 2098     | 101,1124 |
| 2031     | 159,4318 |
| 1772     | 216,7528 |
| 1482     | 274,7809 |
| 1109     | 338,0964 |
| 764,6713 | 355,12   |
| 429,9835 | 344,8761 |
| 67,1033  | 302,6814 |
| -243,244 | 246,0528 |
| -1105,28 | 0        |

**Tablo B.18** Boyutları 65/40 ve donatı miktarı 16Φ18 olan kolon elemanına ait karşılıklı etki diagramı P-M3 ve P-M2 değerleri:

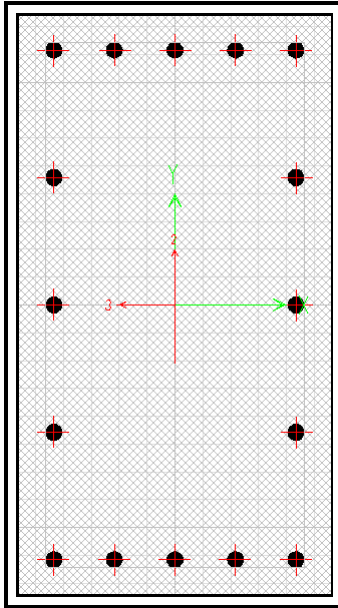
| P (kN)   | M3(kNm)  |
|----------|----------|
| 1934     | 0        |
| 1934     | 50,7667  |
| 1900     | 82,2493  |
| 1654     | 113,2105 |
| 1373     | 143,4153 |
| 1022     | 175,3451 |
| 712,3432 | 182,2238 |
| 393,5666 | 172,7809 |
| 75,9327  | 148,526  |
| -249,765 | 106,8012 |
| -895,277 | 0        |

| P (kN)   | M2(kNm)  |
|----------|----------|
| 1934     | 0        |
| 1934     | 89,5881  |
| 1890     | 142,7919 |
| 1656     | 193,8895 |
| 1397     | 244,2529 |
| 1072     | 297,5784 |
| 758,4883 | 312,0707 |
| 453,6189 | 301,9586 |
| 124,9288 | 263,1689 |
| -162,422 | 209,7775 |
| -895,277 | 0        |

**Tablo B.19** Boyutları 65/40 ve donatı miktarı 16 $\Phi$ 16 olan kolon elemanına ait karşılıklı etki diagramı P-M3 ve P-M2 değerleri:

| P (kN)   | M3(kNm)  |
|----------|----------|
| 1788     | 0        |
| 1788     | 45,58    |
| 1769     | 74,6453  |
| 1546     | 102,3376 |
| 1298     | 128,4581 |
| 992,7247 | 154,9566 |
| 711,4983 | 160,593  |
| 423,8309 | 151,7432 |
| 135,7003 | 129,3981 |
| -147,874 | 93,3595  |
| -707,52  | 0        |

| P (kN)   | M2(kNm)  |
|----------|----------|
| 1788     | 0        |
| 1788     | 79,1287  |
| 1764     | 127,739  |
| 1552     | 173,2574 |
| 1322     | 216,7605 |
| 1038     | 261,1588 |
| 752,8703 | 273,389  |
| 474,3657 | 263,3507 |
| 176,2602 | 227,6027 |
| -90,1306 | 177,1798 |
| -707,52  | 0        |



**Şekil B.7** Boyutları 35/65,35/70 ve 40/70 olan kolonlarda 33 ve 22 lokal akslarının yönleri ve tipik donatı yerleşimi

**Tablo B.20** Boyutları 35/65 ve donatı miktarı 16Φ18 olan kolon elemanına ait karşılıklı etki diagramı P-M3 ve P-M2 değerleri:

| P (kN)   | M3(kNm)  |
|----------|----------|
| 1780     | 0        |
| 1780     | 84,8005  |
| 1729     | 134,0843 |
| 1511     | 182,1295 |
| 1268     | 230,3081 |
| 958,6047 | 282,3164 |
| 668,0517 | 296,4246 |
| 385,7915 | 287,6467 |
| 79,7105  | 251,9094 |
| -185,031 | 203,2887 |
| -895,277 | 0        |

| P (kN)   | M2(kNm)  |
|----------|----------|
| 1780     | 0        |
| 1780     | 39,9704  |
| 1745     | 65,2916  |
| 1511     | 90,5015  |
| 1241     | 115,474  |
| 896,0522 | 142,4482 |
| 609,3434 | 147,8489 |
| 306,3193 | 139,4616 |
| 14,2467  | 119,8236 |
| -356,794 | 76,1748  |
| -895,277 | 0        |

**Tablo B.21** Boyutları 35/65 ve donatı miktarı 16Φ16 olan kolon elemanına ait karşılıklı etki diagramı P-M3 ve P-M2 değerleri:

| P (kN)   | M3(kNm)  |
|----------|----------|
| 1634     | 0        |
| 1634     | 74,3511  |
| 1603     | 119,0475 |
| 1407     | 161,5155 |
| 1193     | 202,8319 |
| 925,2467 | 245,9071 |
| 662,2857 | 257,7399 |
| 406,4272 | 249,028  |
| 130,9679 | 216,3305 |
| -112,777 | 170,6817 |
| -707,52  | 0        |

| P (kN)   | M2(kNm)  |
|----------|----------|
| 1634     | 0        |
| 1634     | 35,8976  |
| 1612     | 59,1596  |
| 1402     | 81,5735  |
| 1164     | 103,027  |
| 868,3051 | 125,2784 |
| 610,0914 | 129,628  |
| 340,1233 | 121,9161 |
| 77,2002  | 103,954  |
| -241,231 | 66,6727  |
| -707,52  | 0        |

**Tablo B.22** Boyutları 35/65 ve donatı miktarı 16Φ14 olan kolon elemanına ait karşılıklı etki diagramı P-M3 ve P-M2 değerleri:

| P (kN)   | M3(kNm)  |
|----------|----------|
| 1505     | 0        |
| 1505     | 65,0052  |
| 1492     | 105,6415 |
| 1316     | 143,1819 |
| 1126     | 178,4455 |
| 895,8567 | 213,654  |
| 657,1394 | 223,484  |
| 424,2833 | 214,792  |
| 175,8171 | 184,7708 |
| -49,0794 | 141,8059 |
| -542,08  | 0        |

| P (kN)   | M2(kNm)  |
|----------|----------|
| 1505     | 0        |
| 1505     | 32,1872  |
| 1495     | 53,6162  |
| 1307     | 73,5494  |
| 1097     | 91,891   |
| 843,8265 | 109,9795 |
| 610,585  | 113,404  |
| 369,205  | 106,2545 |
| 131,997  | 89,7691  |
| -137,935 | 58,4121  |
| -542,08  | 0        |

**Tablo B.23** Boyutları 35/70 ve donatı miktarı 16Φ16 olan kolon elemanına ait karşılıklı etki diagramı P-M3 ve P-M2 değerleri:

| P (kN)   | M3(kNm)  |
|----------|----------|
| 1717     | 0        |
| 1717     | 83,7295  |
| 1689     | 134,1035 |
| 1486     | 181,653  |
| 1265     | 227,5154 |
| 991,1621 | 274,794  |
| 715,5396 | 288,1394 |
| 448,501  | 278,5412 |
| 159,7684 | 241,6408 |
| -99,8255 | 189,0571 |
| -707,52  | 0        |

| P (kN)   | M2(kNm)  |
|----------|----------|
| 1717     | 0        |
| 1717     | 37,3768  |
| 1697     | 61,8286  |
| 1479     | 85,1428  |
| 1231     | 107,2072 |
| 926,0305 | 129,78   |
| 656,2718 | 134,1253 |
| 374,7586 | 125,9611 |
| 100,2904 | 107,0987 |
| -229,686 | 68,4691  |
| -707,52  | 0        |

**Tablo B.24** Boyutları 35/70 ve donatı miktarı 16Φ14 olan kolon elemanına ait karşılıklı etki diagramı P-M3 ve P-M2 değerleri:

| P(kN)    | M3(kNm)  |
|----------|----------|
| 1588     | 0        |
| 1588     | 73,3859  |
| 1579     | 119,3604 |
| 1395     | 161,5787 |
| 1199     | 200,9063 |
| 961,4749 | 239,7128 |
| 710,0219 | 250,8825 |
| 465,5316 | 241,2101 |
| 203,8747 | 207,1839 |
| -36,1282 | 157,6361 |
| -542,08  | 0        |

| P(kN)    | M2(kNm)  |
|----------|----------|
| 1588     | 0        |
| 1588     | 33,6611  |
| 1580     | 56,2769  |
| 1383     | 77,1097  |
| 1165     | 96,0637  |
| 901,737  | 114,4775 |
| 656,9134 | 117,9042 |
| 403,9513 | 110,306  |
| 155,1612 | 92,921   |
| -126,353 | 60,2135  |
| -542,08  | 0        |

**Tablo B.25** Boyutları 40/70 ve donatı miktarı 16Φ20 olan kolon elemanına ait karşılıklı etki diagramı P-M3 ve P-M2 değerleri:

| P (kN)   | M3(kNm)  |
|----------|----------|
| 2193     | 0        |
| 2193     | 113,6146 |
| 2129     | 179,0345 |
| 1861     | 242,8892 |
| 1564     | 306,9794 |
| 1185     | 376,186  |
| 826,2747 | 395,2444 |
| 479,7162 | 384,1514 |
| 101,5018 | 336,7969 |
| -228,443 | 271,6151 |
| -1105,28 | 0        |

| P (kN)   | M2(kNm)  |
|----------|----------|
| 2193     | 0        |
| 2193     | 58,3204  |
| 2146     | 94,0265  |
| 1862     | 129,7965 |
| 1536     | 165,3604 |
| 1121     | 203,7987 |
| 766,3734 | 212,0871 |
| 398,9005 | 201,3603 |
| 34,9842  | 173,7955 |
| -356,055 | 123,1605 |
| -1105,28 | 0        |

**Tablo B.26** Boyutları 40/70 ve donatı miktarı 16 $\Phi$ 18 olan kolon elemanına ait karşılıklı etki diagramı P-M3 ve P-M2 değerleri:

| P (kN)   | M3(kNm)  |
|----------|----------|
| 2030     | 0        |
| 2030     | 100,8286 |
| 1988     | 160,7018 |
| 1746     | 217,8202 |
| 1480     | 273,6325 |
| 1147     | 332,0789 |
| 819,5817 | 348,3855 |
| 502,2181 | 337,3056 |
| 158,3071 | 293,6076 |
| -147,621 | 232,1085 |
| -895,277 | 0        |

| P (kN)   | M2(kNm)  |
|----------|----------|
| 2030     | 0        |
| 2030     | 52,6718  |
| 1998     | 85,693   |
| 1741     | 117,8264 |
| 1451     | 148,8368 |
| 1089     | 181,2057 |
| 765,7763 | 188,1119 |
| 433,6414 | 178,0967 |
| 102,6492 | 152,6696 |
| -236,407 | 109,173  |
| -895,277 | 0        |

**Tablo B.27** Boyutları 40/70 ve donatı miktarı 16 $\Phi$ 16 olan kolon elemanına ait karşılıklı etki diagramı P-M3 ve P-M2 değerleri:

| P (kN)   | M3(kNm)  |
|----------|----------|
| 1884     | 0        |
| 1884     | 89,2387  |
| 1863     | 144,1329 |
| 1643     | 195,2135 |
| 1404     | 243,618  |
| 1114     | 292,4495 |
| 813,5249 | 306,2979 |
| 521,9899 | 295,1857 |
| 208,7611 | 254,7541 |
| -75,3291 | 196,6223 |
| -707,52  | 0        |

| P(kN)    | M2(kNm)  |
|----------|----------|
| 1884     | 0        |
| 1884     | 47,479   |
| 1867     | 78,0794  |
| 1634     | 106,9429 |
| 1375     | 133,8707 |
| 1060     | 160,8127 |
| 765,0794 | 166,4841 |
| 464,0167 | 157,0662 |
| 162,4909 | 133,5499 |
| -134,479 | 95,7369  |
| -707,52  | 0        |